

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RANIERY CABRAL ARAÚJO DA SILVA

ALGAROBA: POTENCIAL SUSTENTÁVEL PARA A MICRO REGIÃO DO
CARIRI OCIDENTAL NO ESTADO DA PARAÍBA

CURITIBA

2017

RANIERY CABRAL ARAÚJO DA SILVA

**ALGARROBA: POTENCIAL SUSTENTÁVEL PARA A MICRO REGIÃO DO
CARIRI OCIDENTAL NO ESTADO DA PARAÍBA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Especialização em Projetos
Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Mercado
de Carbono, do Programa de Educação
Continuada em Ciências Agrárias, da
Universidade Federal do Paraná, como pré-
requisito para obtenção do título de especialista.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Pereira Ramos

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Marta Célia Dantas
Silva

CURITIBA

2017

AGRADECIMENTO

Agradeço a todos os que me incentivaram e deram suporte para o êxito neste trabalho.

Em especial aos meus pais que tanto se esforçam para minha formação acadêmica e profissional.

A minha querida esposa por toda dedicação, companheirismo e compreensão.

A minha co-orientadora Prof. Dr. Marta Célia Dantas por todos os ensinamentos práticos e teóricos experimentados no laboratório e por toda dedicação a este trabalho.

Ao Prof. Dr. Luiz Pereira Ramos por toda atenção, paciência, ensinamentos e orientações durante o desenvolvimento do trabalho.

Ao Prof. Dr. Clovis Gouveia pelos ensinamentos sobre a algaroba e toda sua dedicação e disposição acadêmica que deram suporte laboratoriais para conclusão deste trabalho.

Ao meu primo Leandro Sérgio pela contribuição.

Enfim, a todos que direta e indiretamente colaboraram para concretização deste trabalho, sem vocês eu não teria conseguido.

Eternamente grato a todos!

RESUMO

A continua elevação da temperatura do planeta ocasionada pelo aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEEs) têm sido alvo de preocupação da população, cientistas e governos do mundo todo. Nos últimos anos, muitos estudos têm apontado a relação das mudanças climáticas com as alterações desses gases na atmosfera. Para contribuir com a redução do impacto do acúmulo dos GEEs na atmosfera, tornar-se necessária a substituição dos combustíveis fósseis por combustíveis renováveis derivados de biomassas nativas ou residuais. A algaroba (*Prosopis juliflora* Sw DC) é uma leguminosa arbórea tropical de grande importância para região do semi-árido nordestino, principalmente devido a sua fácil adaptação às condições edafoclimáticas locais, pela grande quantidade de carboidratos presentes em sua composição, e pelos seus múltiplos usos como alimentação e sombreamento para os animais. Sabe-se atualmente que essa matéria-prima pode ser explorada do ponto de vista biotecnológico para obtenção de novos produtos. Em virtude desses aspectos objetivou-se com esse trabalho o estudo do aproveitamento das vagens de algaroba coletadas na região do Cariri Ocidental no Estado da Paraíba para a produção do etanol. Para sua obtenção foi aplicado o processo de fermentação alcoólica, utilizando como agente fermentativo a levedura *Sacharomyces cerevisiae*. As vagens maduras utilizadas no processo foram coletadas nos municípios de Pocinhos e Sumé. O caldo foi extraído em prensa manual e logo em seguida foram medidas a temperatura, o teor de sólidos solúveis (°Brix) e os açúcares redutores totais (ART). A fermentação alcoólica foi realizada por 14 h empregando o fermento granulado seco. O caldo de algaroba cuja densidade foi de $1,0661 \text{ g mL}^{-1}$, iniciou a fermentação com 21,45 °Brix, sendo a mesma considerada finalizada ao se atingir 4°Brix. O teor de etanol do fermentado foi de 9°GL. A fermentação resultou nos seguintes valores: produtividade de $5,1 \text{ g L}^{-1} \text{ h}^{-1}$, rendimento do produto de 64%, ART de 148,9 antes e de $37,58 \text{ g L}^{-1}$ depois da fermentação, porcentagem de conversão de 93,65% e produção de 0,2L de etanol por kg de vagem. Na etapa seguinte, o caldo fermentado foi destilado no alambique com o objetivo de recuperar o etanol, separando do substrato fermentado uma solução hidroalcoólica ainda impura. Um produto sem impurezas e com maior teor alcoólico, visando atender à legislação vigente, foi obtido mediante o uso de um microdestilador. No processo de destilação obteve-se o etanol com 92°GL atendendo a todas as suas especificações visuais, químicas e físicas. Dessa maneira, constata-se que o etanol a partir das vagens de algaroba valorizariam o cultivo dessa biomassa, podendo ser utilizado pelos agricultores em minidestilarias para aumento da renda familiar.

Palavras-chave: Algaroba, Fermentação alcoólica, Etanol

ABSTRACT

The continual rise of the planet's temperature caused by rising greenhouse gas emissions (GEEs) has been a concern of the population, scientists and governments worldwide. In recent years, many studies have pointed to the relationship of climate change with the changes of these gases in the atmosphere. In order to contribute to reducing the impact of GEEs accumulation on the atmosphere, it is necessary to replace fossil fuels with renewable fuels derived from native or residual biomass. The algaroba (*Prosopis juliflora* Sw DC) is a tropical arboreal legume of great importance to the semi-arid region of the Northeast, mainly due to its easy adaptation to the local edaphoclimatic conditions, the large amount of carbohydrates present in its composition, and its multiple uses Such as feeding and shading for animals. It is now known that this raw material can be much more exploited from the biotechnological point of view to obtain new products. Due to these aspects, this work aimed to study the use of the algaroba pods collected in the region of Cariri Ocidental in the State of Paraíba for the production of ethanol. For its production the alcoholic fermentation process was applied, using the yeast *Sacharomyces cerevisiae* as a fermentation agent. The mature pods used in the process were collected in the municipalities of Pocinhos and Sumé. The broth was extracted by hand press and then the temperature, the soluble solids content (°Brix) and the total reducing sugars (ART) were measured. The alcoholic fermentation was carried out for 14 h using the dry granulated ferment. he algaroba broth whose density was 1.0661 gml⁻¹, started the fermentation with 21.45 ° Brix, and it is considered finished when reaching 4 ° Brix. The ethanol content of the fermentation was 9 ° GL. The fermentation resulted in the following values: yield of 5.1 gL⁻¹h⁻¹, product yield of 0.64, ART of 148.9 before and 37.58 after fermentation, conversion percentage of 93.65% and Production of 0.2L of ethanol per kg of pod. In the next step, the fermented broth was distilled in the still to recover the ethanol, separating from the fermented substrate a still impure hydroalcoholic solution. A product with no impurities and higher alcohol content, in order to comply with current legislation, was obtained through the use of a micro distiller. In the distillation process it was obtained the ethanol with 92 ° GL meeting all its visual, chemical and physical specifications. In this way, it can be verified that ethanol from the marshy marshes adds value for the cultivation of this biomass, and can be used by farmers in mini-distilleries to increase family income.

Key-Words: Algaroba, Alcoholic fermentation, Ethanol

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Perspectivas de crescimento da demanda mundial de energia primária	15
FIGURA 2 – Diferentes rotas tecnológicas para produção do etanol	19
FIGURA 3 – Árvore de algaroba (<i>Prosopis juliflora</i> (SW) D.C)	21
FIGURA 4 – Vagens de algarobeira	22
FIGURA 5 – Localização das microrregiões do Cariri Ocidental e Oriental do Estado da Paraíba.....	23
FIGURA 6 – Microrregião do Estado da Paraíba	24
FIGURA 7 – Fluxograma para obtenção do fermentado (vinho) de algaroba	29
FIGURA 8 – Fragmentação das vagens de algaroba.....	31
FIGURA 9 – Vagens hidratadas e a prensa hidráulica manual nas imagens 9A e 9B respectivamente.....	32
FIGURA 10 – Caldo obtido da prensagem das vagens.....	32
FIGURA 11 – Prepara do inóculo.....	33
FIGURA 12 – Fluxograma experimental para obtenção do etanol através das vagens da algaroba.....	34
FIGURA 13 – Destilador de cobre adaptado para produzir soluções hidroalcoólicas.....	38
FIGURA 14 – Micro destilador de álcool	39
FIGURA 15 – Processo de fermentação utilizando o inóculo do caldo da algaroba	41
FIGURA 16 – Evolução dos sólidos solúveis totais durante os ensaios de fermentação	43
FIGURA 17 – Evolução do teor alcoólico do mosto em função do tempo de fermentação	44
FIGURA 18 - Gráfico do comportamento do teor alcoólico na destilação do fermentado de algaroba.	47

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Especificações do (EHC)	40
TABELA 2 – Perfil geral da fermentação alcoólica das vagens de algaroba	46
TABELA 3 – Valores obtidos no processo de micro destilação	49
TABELA 4 – Caracterização físico-química do etanol hidratado carburante EHC	49

LISTA DE ABREVIATURAS

°GL – Teor Alcoólico em °Gay Lussac

AIE - Agência Internacional de Energia

ANP - Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

ART - Açúcares Redutores Totais

BNDES - Banco Nacional do Desenvolvimento

CGEE - Centro de Gestão de Estudos Estratégicos

CO₂ - Dióxido de Carbono

Cop-21 - United Nations Climate Change Conference Paris 2015

CTRN - Centro de Tecnologia e Recursos Naturais

DNS - Ácido 3,5 dinitro Salicílico

EHC - Etanol Hidratado Carburante

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

GEEs - Gases de Efeito Estufa

INDCs - Interred Nationally Determined Contributions

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

LCC - Laboratório de Certificação da Cachaça

Ph - Potencial Hidrogeniônico

PVC - Policloreto de Vinila

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SST - Sólidos Solúveis Totais

TEP - Tonelada Equivalente de Petróleo

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change

SÚMARIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVOS	13
1.1.1 GERAL	13
1.1.2 ESPECÍFICOS	13
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 RELAÇÕES ENTRE A SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL E AS FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA	13
2.2 ETANOL: ENERGIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	16
2.2.1 Aspectos da produção biotecnológica do etanol	18
2.3 ALGAROBA (<i>Prosopis juliflora</i> (SWARTZ) D.C)	20
2.3.1 Considerações gerais	20
2.3.2 A Algaroba como promotora de desenvolvimento para a micro região do Cariri Ocidental no Estado da Paraíba	22
2.3.3 Aspectos gerais, aplicações e usos das vagens	26
2.3.4 Trabalhos sobre a produção de etanol e a legislação vigente	27
3. MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1 ÁREA EXPERIMENTAL	29
3.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO E OBTENÇÃO DO FERMENTADO (VINHO) DE ALGAROBA	30
3.2.1 Matéria prima	30
3.2.2 Sistema de seleção, limpeza e fragmentação	30
3.2.3 Sanitização	30
3.2.4 Fragmentação	30
3.2.5 Hidratação, prensagem e extração	31
3.2.6 Fermentação alcoólica	33
3.2.6.1 Preparação do inóculo	33
3.2.6.2 Determinação dos açúcares redutores totais (Art)	34
3.2.6.3 Determinação de sólidos solúveis totais (°Brix)	35
3.2.6.4 Determinação do pH	35
3.2.6.5 Determinação da temperatura	35

3.2.6.6	Determinação do teor de álcool do fermentado	35
3.2.6.7	Cálculo de produtividade, rendimento do produto, percentual de conversão e produção de álcool por quilo de vagem	36
3.2.6.7.1	Cálculo da produtividade ($\text{g L}^{-1} \text{h}^{-1}$)	36
3.2.6.7.2	Rendimento teórico (Yp/s)	36
3.2.6.7.3	Percentual de conversão (%)	37
3.2.6.7.4	Produção de etanol por quilograma de vagem (L Kg^{-1})	37
3.3	SOLUÇÃO HIDROALCOÓLICA	38
3.3.1	Concentração de álcool no destilado	39
3.3.2	Micro destilação	39
3.4	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO ETANOL	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1	PROCESSO DE FERMENTAÇÃO	41
4.2	DETERMINAÇÃO DOS AÇÚCARES REDUTORES TOTAIS (ART)	42
4.3	EVOLUÇÃO DOS VALORES DE SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS ($^{\circ}\text{BRIX}$)	42
4.4	EVOLUÇÃO DOS VALORES DO TEOR ALCOÓLICO ($^{\circ}\text{GL}$)	43
4.5	DETERMINAÇÃO DOS VALORES DE PH	44
4.6	DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA	45
4.7	CÁLCULO DE PRODUTIVIDADE ($\text{GL}^{-1} \text{H}^{-1}$)	45
4.8	RENDIMENTO TEÓRICO (YP/S)	45
4.9	PERCENTUAL DE CONVERSÃO	46
4,10	PRODUÇÃO DE ÁLCOOL POR QUILO DE VAGEM (LKG^{-1})	46
4.11	DESTILAÇÃO	47
4.12	OBTENÇÃO DO ETANOL HIDRATADO CARBURANTE POR MICRO DESTILAÇÃO (EHC)	47
4.13	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO ETANOL HIDRATADO CARBURANTE EHC	49
5	CONCLUSÃO	51
6	REFERÊNCIAS	52

1. INTRODUÇÃO

Há muito se tem visto uma ampla preocupação quanto à utilização e gerenciamento de combustíveis fósseis, principalmente em relação às mudanças climáticas evidenciadas nos dias de hoje. Esse cenário se deve ao aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEEs) que são decorrentes da intensificação de atividades antropogênicas no mundo. Tais atividades têm sido apontadas como fator de impacto direto sobre o clima em escala global, sendo o transporte, a atividade humana que mais contribui com a emissão de poluentes atmosféricos. O problema residente no setor de transporte está atrelado ao fato de que a maior parte da energia consumida é derivada de combustíveis fósseis. Mais de 72% do consumo energético do setor se deve ao uso da gasolina e do diesel, adicionados ainda, do gás natural e do querosene de aviação (EPE, 2016).

Tais preocupações, já estavam em pauta desde 1972 quando foi realizada a Conferência de Estocolmo, na Convenção do Clima em 1992 e no Protocolo de Kyoto em 1997. Estas preocupações se tornaram ainda mais evidentes por meio do Novo Acordo Global sobre o clima, que ocorreu na Conferência das Partes - Cop-21 realizada em Paris em dezembro de 2015. Esse acordo cita de forma clara e objetiva a necessidade imediata de se promover o acesso universal à energia sustentável, sobretudo em países em desenvolvimento, através da implementação de projetos para a produção de energias renováveis (UNFCCC, 2015).

Da mesma maneira, o Brasil, acompanhando de forma atenta as discussões sobre o tema, externou explicitamente medidas e contribuições que foram apresentadas na Cop-21. Tais medidas, denominadas INDCs (Intended Nationally Determined Contributions) foram posteriormente traduzidas pelo governo brasileiro como “Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada”.

Uma das contribuições mencionadas nas INDCs do Brasil consiste em adotar medidas adicionais para atingir uma meta de redução de temperatura de 2 °C e para isso destaca: aumentar a participação de bioenergia na matriz energética em aproximadamente 18% até 2030; expandir o consumo de biocombustíveis através do aumento da oferta de etanol, inclusive expandindo a oferta de biocombustíveis avançados (segunda geração); e expandir o uso

doméstico de fontes de energia não fóssil, aumentando assim a participação da energia de biomassa e outras renováveis para ao menos 23% até 2030 (UNFCCC, 2015). Portanto, é notória a existência de um cenário altamente favorável para o desenvolvimento de projetos de energia renovável no mundo todo, onde o principal desafio está em conciliar a demanda crescente de energia seguindo o caminho da sustentabilidade. Neste sentido, há uma grande motivação da sociedade científica brasileira no intuito de buscar o aprofundamento dessas perspectivas e de realizar estudos de viabilidade para serem desenvolvidos vários projetos com esse perfil em todo território nacional ao longo dos próximos anos.

Segundo Cavalcante (2010), um passo bastante efetivo nesse processo seria usar derivados da biomassa como combustíveis alternativos. Para um país com clima tropical como o Brasil, o substituto direto da gasolina derivada do petróleo é, sem dúvida, o etanol, que tem como fonte geradora as biomassas sacarínicas. A produção de etanol através dessas biomassas é bastante plausível do ponto de vista ecológico e ambiental, uma vez que, além de ser um recurso renovável, reduz a poluição pela não liberação de CO₂ e sua formação advém de uma energia limpa e natural, a energia solar (MONTEIRO, 2011).

O etanol produzido no Brasil deriva principalmente da cana-de-açúcar e essa é considerada uma fonte alternativa renovável e menos poluidora quando se refere a sistemas energéticos sustentáveis. Porém, outras fontes igualmente interessantes não têm recebido o mesmo tratamento. Pesquisas mostram que fontes alternativas também poderiam ser utilizadas como matéria-prima para produzir etanol, utilizando métodos como pré-tratamentos físico-químicos e fermentação alcoólica para os processos envolvendo a sacarose (BNDES E CGEE, 2008).

Nesse contexto, uma nova fonte de sacarose vem motivando os pesquisadores no Nordeste do Brasil. A Algaroba (*Prosopis juliflora*) é uma leguminosa arbórea tropical, não oleaginosa, que consegue sobreviver em índices pluviométricos muito baixos, podendo crescer em solos pobres e ligeiramente salinos. Embora não seja uma planta nativa, é encontrada em plantações e cultivos subespontâneos em todos os estados do Nordeste devido a sua excelente adaptação em regiões áridas e semiáridas (SILVA, 2007). Sua disseminação para os demais estados da Federação se deu através da

regeneração natural de plantios, sendo o Nordeste a maior reserva algarobeira do país. Na região Centro-Sul do Estado da Paraíba está localizado o Cariri Ocidental, onde estão inseridos diversos municípios extremamente carentes de uma atividade socioeconômica alternativa. Nessa região, a algaroba representa a esperança de sobrevivência para agricultores e animais no meio rural, através do aproveitamento de suas vagens (SUASSUNA, 2007).

Para a conversão da sacarose em etanol, são utilizados desde a antiguidade uma espécie de levedura chamada *Saccharomyces cerevisiae*, capaz de proporcionar a ação fermentativa do substrato com grande eficiência. Esse tipo de fermento biológico pode ser encontrado seco ou granulado (VILELA, 2005).

As vagens da algarobeira são frutos palatáveis, aromáticos e doces, e o seu caldo é considerado um meio de cultura natural por excelência por apresentarem características peculiares bastante favoráveis aos processos de fermentação (FIGUEIREDO, 2000). Devido a sua produtividade, que pode variar de 3 a 8 toneladas de vagens por hectare, a algarobeira torna-se bastante expressiva quando comparada a outras biomassas alternativas à cana-de-açúcar, apresentando um grande potencial para o uso da espécie no processo de obtenção de etanol (SILVA, 2007).

Nesse contexto, a algaroba tem um grande valor econômico e social para população do semi-árido nordestino, pois além de servir de matéria-prima para produção de etanol, pode ser utilizada para produção de madeira, carvão vegetal, estacas, melaço, alimentação animal e humana, apicultura, reflorestamento, ajardinamento e sombreamento, o que a torna uma cultura promissora e alternativa para justificar o aprofundamento do tema (SILVA, 2009).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 GERAL

Verificar a viabilidade técnica das vagens de algaroba para a obtenção do etanol.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar a algaroba (*Prosopis juliflora*) quanto as suas propriedades químicas, físicas e biológicas.
- Caracterizar, padronizar e monitorar os parâmetros físicos, químicos e biológicos do material obtido (extrato aquoso).
- Certificar que o etanol obtido atende as especificações da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.
- Apontar caminhos que possam levar sustentabilidade ao setor de biocombustíveis, utilizando biomassa nativa encontrada na micro-região do estado da Paraíba.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 RELAÇÕES ENTRE A SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL E AS FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA

Após a primeira e segunda guerras mundiais, grandes avanços tecnológicos ocorreram nos processos de produção para atender a demanda da indústria bélica, bem como as exigências do modelo econômico capitalista. Como consequência da expansão desse sistema, muitas transformações foram geradas ao meio ambiente, sendo essas observadas pela degradação dos solos, da qualidade do ar, das águas dos rios e oceanos, bem como pelo desmatamento de grandes áreas florestais (MACHADO, 2010).

Processos como esses têm sido apontados pelos cientistas como primordiais para interferir nos fenômenos naturais e causar mudanças climáticas. Segundo Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC (2012), as mudanças climáticas podem ser identificadas a partir de dados históricos que comprovam as alterações no estado natural do clima, bem como pela observância das modificações de suas características médias, podendo ter processos naturais ou antrópicos como agente causador. Assim, o aumento do consumo e da produção mundial, associado a fatores como crescimento populacional e sua demanda por alimentos e energia, vem causando uma crescente preocupação quanto as questões ambientais por parte de algumas vertentes da sociedade (IPEA, 2010).

No cenário atual, as tecnologias adquiridas através da evolução dos processos de produção, sobretudo industriais, trouxeram como desafios: diminuir a distribuição desigual no uso dos recursos energéticos disponíveis, reduzir a demanda por fontes não renováveis de energia, melhorar as relações sócio-políticas “Norte e Sul” no sentido de equilibrar o uso da riqueza global, conscientizar o gerenciamento do uso da energia atendendo aos desafios do desenvolvimento sustentável e conciliar a produção de alimentos e de biomassa energética em terras agricultáveis (MACHADO, 2010).

O fato da indústria tecnológica do Século XX ser movida, sobretudo, por fontes energéticas não-renováveis, principalmente as derivadas do petróleo, faz com que se projete um futuro preocupante para humanidade não só pela sua

condição finita na natureza, mas também pelos transtornos ambientais e socioeconômicos que causa (IPCC, 2014).

Segundo a Agência Internacional de Energia (AIE, 2014), a análise da estrutura de consumo por matéria-prima para produção de energia é a solução para enfrentar os desafios e problemáticas no futuro. Esta estrutura tem no petróleo e nas demais fontes energéticas de origem fóssil um papel fundamental para atender ao consumo mundial de energia primária. Os dados e a evolução da matriz energética podem ser observados na (Figura 1).

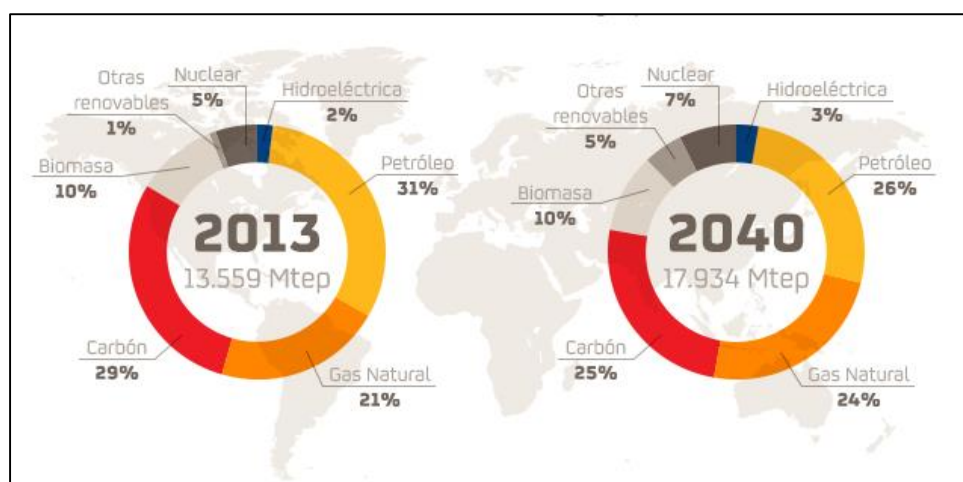


Figura 1: Perspectivas de crescimento da demanda mundial de energia primária
Fonte: Agência Internacional de Energia (AIE, 2014).

O consumo mundial de energia utilizando fontes não-renováveis (petróleo, carvão e gás natural) chegou aos 81,4% recentemente (EPE, 2016). Até o ano de 2003, este consumo apresentava-se com um aumento de cerca de 2% ao ano (média de 20 anos). Porém, nos últimos cinco anos, esse consumo vem apresentando um crescimento médio anual de aproximadamente 3,1% (GOLDEMBERG et al., 2008).

No Brasil, a produção de petróleo cresceu 8% em 2015, alcançando a média de 2,44 milhões de barris por dia. Já a produção de derivados nas refinarias brasileiras atingiu o valor de 103,35 milhões de TEP, o que representa uma redução de 6,4% em relação ao ano anterior. Da produção total, aparecem em destaque a gasolina e o óleo diesel, com 19,2% e 40,9%, respectivamente (EPE, 2016).

Devido ao crescimento da demanda energética e da utilização do petróleo como fonte primária, bem como das preocupações com o aquecimento global e

com os gases de efeito estufa, o IPCC – Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, em seus modelos, vem projetando valores para a temperatura média da Terra até o ano de 2100. Os resultados dos seus modelos apontam para um aumento de 2 e 5,4°C, caso não haja uma rápida mudança no modelo de desenvolvimento da economia voltada apenas para o capital financeiro (EMBRAPA, 2008).

Segundo Embrapa (2008), as alterações climáticas motivadas pelo Aquecimento Global tendem a provocar mudanças significativas no modelo agrícola brasileiro. A região do semi-árido nordestino deverá ser uma das mais impactadas, ficando passiva de ocorrência de desertificação acelerada, tornando culturas tradicionais como a mandioca, milho e a cana-de-açúcar totalmente impróprias para o plantio

O desenvolvimento do tripé biodiversidade, biotecnologia e biomassa, é apontado como a principal solução para o problema, uma vez que há uma demanda crescente pelo surgimento de uma civilização fundamentada no uso da biomassa como complemento ou até como substituto integral da petroquímica, atendendo assim aos apelos ecológicos para inserir os biocombustíveis no lugar das fontes de origem fóssil (SACHS e VIEIRA, 2007).

É através do processo de industrialização descentralizada, fazendo-se uso da biomassa como matéria-prima, que novas oportunidades de empregos serão gerados para o pequeno e médio agricultor em áreas rurais. Assim, Sachs (2002), destaca o etanol como alternativa de energia renovável que poderia maximizar essa geração de benefícios aos pequenos produtores da região do Nordeste.

2.2 ETANOL: ENERGIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Utilizado como combustível ecologicamente correto, o etanol, também conhecido como álcool etílico, é um álcool cuja fórmula molecular é C_2H_5OH . (PETROBRAS, 2013). Segundo Solomons (2005), qualquer que seja a sua origem, seja da biomassa ou de processos petroquímicos ou carboquímicos, o etanol é um combustível que apresenta a mesma característica carburante, da gasolina, isto é, quando em combustão na presença de oxigênio é convertido em dióxido de carbono, água e energia. Entretanto, o etanol apresenta algumas

diferenças importantes em relação aos combustíveis convencionais derivados de petróleo. Dentre essas está a possibilidade de uma combustão mais limpa que resulta no melhor desempenho dos motores, o que contribui para reduzir as emissões de poluentes. Além disso, o etanol pode ser misturado à gasolina comportando-se como um aditivo para o combustível, melhorando as suas propriedades (BNDES e CGEE, 2008). Outras diferenças em relação aos combustíveis convencionais é que a produção ou uso do etanol gera cinco vezes menos poluentes e sua obtenção pode se dar exclusivamente a partir de matérias-primas renováveis (SEBRAE, 2013).

Com relação à produção de etanol no Brasil, seu melhor momento se deu a partir de 1975, favorecido pela crise do petróleo e pela criação do Proálcool – Programa Nacional do Álcool, que tinha como objetivo reduzir a dependência nacional pelo petróleo. Entretanto, a retirada de subsídios ao produtor rural, o crescimento da produção interna de petróleo e a redução de seus preços internacionais aumentaram a competitividade da gasolina em relação ao etanol (VEIGA FILHO e RAMOS, 2006).

Com a inserção dos veículos *flex-fuel* em março de 2003, houve um forte crescimento da produção de etanol derivado da cana-de-açúcar que voltou a colocar o Brasil em destaque internacional. Entretanto, a crise de 2008 afetou significativamente os produtores de cana-de-açúcar, influenciando diretamente na viabilidade da comercialização do produto. Consequentemente, em 2009, o etanol perdeu competitividade em termos de custo e eficiência para gasolina (ANP, 2013).

Segundo o último relatório do Balanço Energético Nacional publicado em 2016, houve um crescimento de 14,66% na produção de etanol hidratado em relação ao ano de 2014, atingindo um montante de 18.685 mil m³. Já a produção do etanol anidro que é adicionado à gasolina A para produzir a gasolina C, registrou uma queda de 5,4%, totalizando 11.565 mil m³. Com relação ao uso do etanol hidratado no setor rodoviário, houve um acréscimo de 34,48% em relação ao ano anterior. Porém, o mesmo não pode se dizer das exportações, que recuaram 39,22% (EPE, 2016).

Mesmo com as dificuldades do mercado de biocombustíveis, diversos fatores potencializam o uso de biomassas para produção do etanol. Um deles, está atrelado à autossuficiência em energia elétrica por parte de algumas usinas,

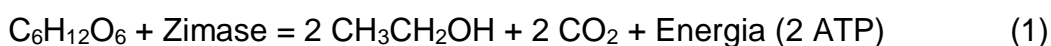
que usam o bagaço da cana de açúcar, que é gerado no processo de moagem, para combustão em caldeiras de alta pressão, produzindo energia em quantidade muitas vezes maior que a necessária para própria usina, deixando a mesma passível de comercialização. O grande benefício ambiental associado ao uso do álcool, está na redução das emissões, uma vez que cerca de 2,3 toneladas de CO₂ deixam de ser emitidas para cada tonelada de álcool utilizado, justificando assim a expansão das pesquisas e investimentos do setor sucroalcooleiro (BNDES e CGEE, 2008).

2.2.1 Aspectos da produção biotecnológica do etanol

O etanol pode ser obtido por meio de matérias-primas amiláceas, (milho), ou sacarínicas (cana-de-açúcar e a beterraba). No caso das amiláceas, é necessária a conversão do amido em açúcares por meio de um processo enzimático sob temperaturas relativamente elevadas. Se utilizadas a cana-de-açúcar e a beterraba, os açúcares já se encontram na forma livre, ou seja, disponíveis para produzir o biocombustível por processos fermentativos, necessitando apenas de sua extração (MONOCHIO, 2014).

Segundo Leite Filho (2016), a fermentação é o processo de oxidação-redução intramolecular anaeróbico e exotérmico, pelo qual micro-organismos catalisam a conversão de uma substância em determinado produto; assim, a fermentação alcoólica pode ser considerada a oxidação anaeróbica da glicose por ação de leveduras com a produção final de álcool etílico, anidrido carbônico e outros produtos secundários.

De acordo com Pantoja (2006), a equação global de desdobramento da glicose em etanol e CO₂ durante a fermentação ocorre naturalmente com geração espontânea de energia conforme a Equação 1. A relação estequiométrica mostra que 1 mol de glicose (180 g) produz simultaneamente 2 mols de etanol (46 g) e 2 mols de CO₂ (44 g) com um saldo positivo de energia proveniente das células, na forma de ATP.



Na Figura 2 pode ser observado o fluxograma da produção do etanol pelos processos acima mencionados.

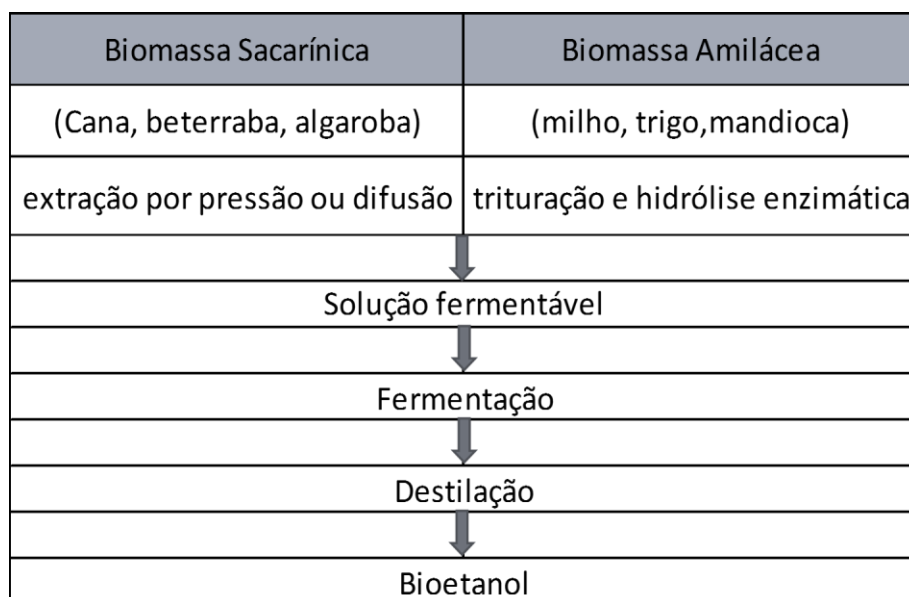


Figura 2: Diferentes rotas tecnológicas para produção do etanol.
Fonte: Adaptado de BNDES e CGEE (2008).

Diversos microrganismos podem ser utilizados para a produção de etanol e, dentre eles, a levedura *Saccharomyces cerevisiae* se destaca e muitas de suas cepas têm sido selecionados e exploradas para fermentação de pão, cerveja, vinhos, queijos e para produção do etanol (CARVALHO et al, 2006).

Com a habilidade de ajuste metabólico tanto em condições de aerobiose como de anaerobiose, o padrão respiratório da *Saccharomyces cerevisiae* é do tipo anaeróbio facultativo. Sendo assim, as condições ambientais em que se encontra a levedura são fundamentais para o metabolismo do açúcar. Quando em condições aerobióticas o açúcar é transformado em biomassa, CO₂ e H₂O, mas em anaerobiose a maior parte é convertida em etanol e CO₂, processo conhecido como fermentação alcoólica (TRABULSI; ALTERTHUM, 2004).

Muitos insumos podem ser utilizados para produção de etanol a partir dos componentes da biomassa. Uma das matérias-primas que vem ganhando adeptos no nordeste brasileiro é a algaroba. Essa planta vem sendo estudada como insumo para produção de etanol, de aguardente e de subprodutos gerados nos processos. Silva et al. (2003), realizaram a extração e fermentação do caldo da algaroba com o intuito de obter os parâmetros ideais para produção de aguardente. No trabalho de Muniz (2009), as vagens de algaroba foram processadas para produzir o fermentado (vinho), o etanol, a farinha e farelos enriquecidos nutricionalmente (protéico, energético e mineral) para serem utilizados como alimentação humana (pães e bolos) e animal (ração para

bovinos e caprinos). Leite Filho (2016), também trabalhou na obtenção do álcool a partir das vagens de algaroba, e obteve o etanol nas especificações exigidas pela legislação vigente.

Nesse contexto, a algaroba apresenta atributos favoráveis para o seu aproveitamento nas indústrias de alimentos, de bebidas e de biocombustíveis e, através do desenvolvimento de novos produtos, pode contribuir significativamente para o desenvolvimento social e econômico de regiões carentes.

2.3 ALGAROBA (*Prosopis juliflora* (SWARTZ) D.C)

2.3.1 Considerações Gerais

A evolução do gênero *Prosopis* teve seu desenvolvimento na região da África Tropical, onde encontra-se até os dias de hoje a espécie *Prosopis africana* (LIMA & MARCONDES, 2002). A migração de suas sementes para o continente americano, ocorreu quando estes continentes eram ligados, envolvendo diferentes espécies de pássaros e mamíferos adaptadas à dispersão a curta distância, em um sistema de difusão endozóica bastante efetivo (SILVA et al., 2003).

Silva et al. (2003), evidenciaram que gênero *Prosopis* tem se espalhado pelo mundo nos dois últimos séculos, tendo sido introduzido em várias regiões secas, áridas e semiáridas como o leste e sul da África, Paquistão, Índia, Brasil e Austrália. Pertencente à família *Leguminosae*, subfamília *Mimosoideae*, o gênero *Prosopis* possui cerca de 44 espécies do tipo arbórea, variando de tamanho médio a grande porte, podendo atingir alturas de até 20 m com diâmetro de tronco de aproximadamente 1 m.

Ainda que se desenvolvam nas proximidades de rios e lagos, algumas espécies do gênero *Prosopis* se adaptam muito bem a lugares secos, podendo sobreviver as intempéries climáticas. Diferente de outras plantas, estas espécies crescem muito rápido em solos de baixa fertilidade, possuindo significativa tolerância a solos ácidos e salinos (LORENZI et al, 2003).

A *Prosopis juliflora* (Sw) D. C. (Figura 3), espécie de origem peruana, foi introduzida no Brasil em meados da década de 40, sobretudo no Nordeste, como solução mitigadora para recuperação de terras áridas e secas. Sua difusão se

deu a partir da sua capacidade de reprodução, expansão e resistência aos fenômenos adversos e periódicos da seca, contribuindo para sobrevivência do homem do campo e os animais (SILVA, 2002).

As algarobeiras que vegetam o nordeste brasileiro, de maneira geral, possuem ramos ascendentes, espinhos ou inermes, espinhos geminados, flores amarelo-esverdeadas agrupadas em inflorescências, em racimos na forma de espigas. Quanto à sexualidade, são do tipo bissexuais actinomorfas constituindo-se de cinco sépalas, cinco pétalas e dez estames (LIMA, 1987).

Ainda de acordo com Lima (1987), seus frutos possuem coloração amarelo-palha (Figura 4), em forma de lomento drupáceo, casualmente falcado, retos indeiscentes, com 10 a 40 cm de comprimento, 15 a 20mm de largura e 4 a 5 mm de espessura contendo, em média, 17 sementes.



Figura 3: Árvore de algaroba (*Prosopis juliflora* (SW) D.C.)

Fonte: Acervo do autor, 2016



Figura 4: Vagens da algarobeira

Fonte: Acervo do autor, 2016.

As algarobeiras têm sido plantadas por reflorestadores e agricultores com o objetivo de se obter vagens para uso como alimento para ruminantes. Segundo Nobre (1982) apud Lima (2005), a algarobeira inicia a produção das vagens a partir do segundo ano, estendendo-se até os quarenta anos, produzindo, cerca de 3 a 8 toneladas de vagens por hectare/ano. No Brasil, sua concentração está inteiramente restrita à região Nordeste.

2.3.2 A algaroba como promotora de desenvolvimento para Micro-região do Cariri Ocidental no Estado da Paraíba

A região do Cariri paraibano (Figura 5) possui 31 municípios inseridos em uma área total de 12.316,6 km², que equivale a aproximadamente 20% do território estadual. Seus municípios rurais estão localizados em uma área denominada de Cariris Paraibano, que fica no centro do espaço geográfico do Estado da Paraíba.

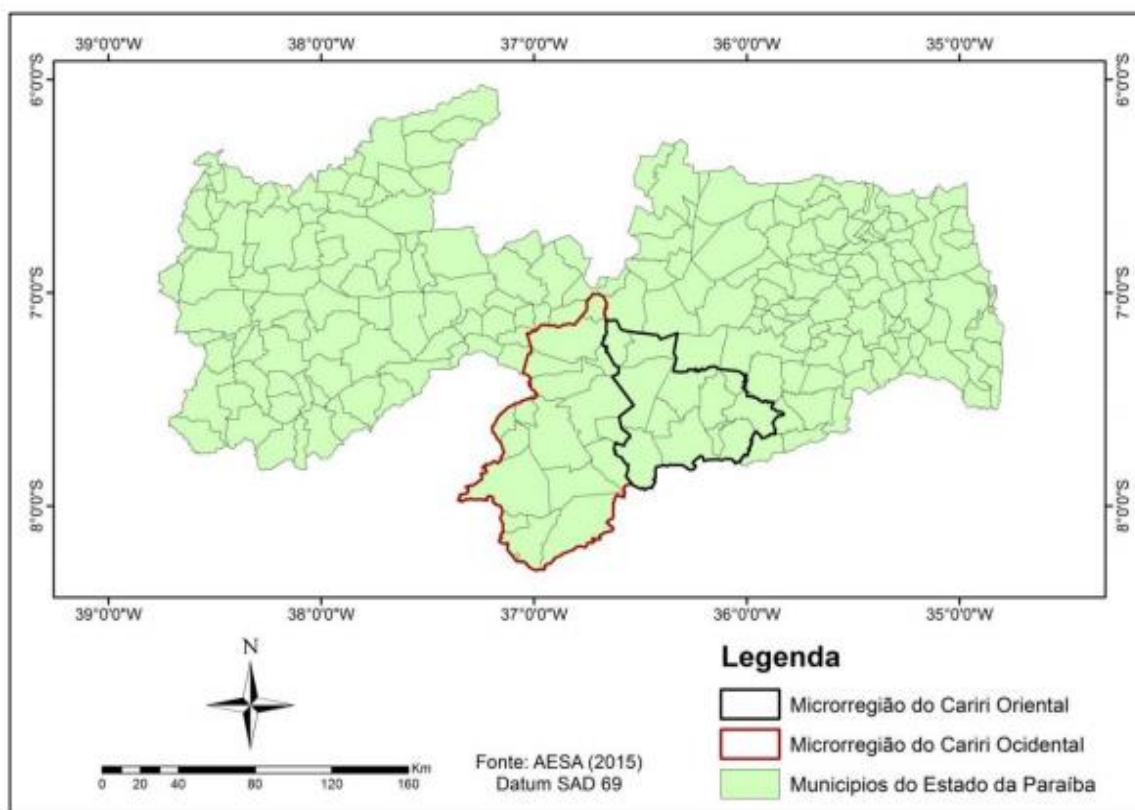


Figura 5: Localização das microrregiões do Cariri Ocidental e Oriental do Estado da Paraíba.
Fonte: Alves et al (2015).

Micro-região do Estado da Paraíba, o Cariri Ocidental, está localizado no Centro-Sul, constituindo-se de 17 municípios: Amparo, Assunção, Camalaú, Congo, Coxixola, Livramento, Monteiro, São João do Tigre, São Sebastião do Umbuzeiro, Serra Branca, Sumé, Taperoá, Zabelê, Ouro Velho, Parari, Prata e São José dos Cordeiros (Figura 6), que estão distanciados de 180 a 300 km da capital João Pessoa. Possui uma área total de 6.983,601 km² com uma população de 127.274 habitantes, dos quais 38,2 % vivem na zona rural (ALVES et al., 2015).

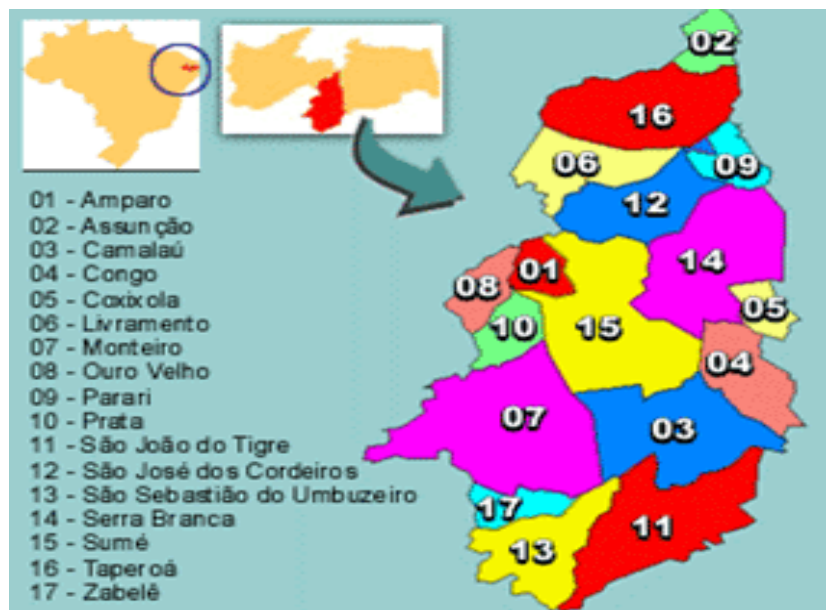


Figura 6: Micro região do Estado da Paraíba.

Fonte: Disponível em: http://www.cdsa.ufcg.edu.br/pibid/?page_id=8

Trata-se de uma região cujo os índices de precipitação pluviométrica são os menores do semi-árido brasileiro, com médias anuais históricas inferiores a 400 mm. Os ventos úmidos da convergência intertropical e dos alísios são barrados pelos paredões que formam a chamada “depressão do Cariri”, sendo esse o fator preponderante para baixa pluviosidade na região (COHEN & DUQUÊ, 2001).

Devido a seus solos rasos e litóricos, geralmente com espessura inferior a 50 cm, a região do Cariri em sua totalidade é bastante susceptível à desertificação. Essa situação torna-se ainda mais grave quando se analisa o alto desmatamento provocado por centenas de anos de exploração econômica, baseada em práticas tradicionais de manejo como, por exemplo, as frequentes queimadas (SOUZA, 2010).

Os solos do Cariri possuem grande potencial para o aproveitamento hidroagrícola, porém, necessitam de um eficiente manejo devido a sua tendência à salinização. Quando esses solos ficam descobertos, somados à diminuição e o rebaixamento da cobertura vegetal, fortes sinais de erosão podem ser encontrados (SOUZA, 2010).

Quando relacionada a situação ecológica altamente adversa a alguns indicadores sociais da micro-região como, por exemplo, o IDH médio (0,38) e a renda familiar per capita (0,75 salários mínimos), compreende-se a condição de extrema pobreza do Cariri Ocidental paraibano. Embora Sumé e Monteiro sejam

as cidades mais importantes e populosas dessa região, ainda assim apresentam níveis de desenvolvimento social e econômico bem abaixo das principais cidades do Estado, o que as deixam bastante dependentes de políticas públicas mais eficazes (ALVES et al., 2015).

É nesse contexto que Muniz (2009) apud Souza & Tenório (1982), apresentam a algaroba como uma alternativa agronômica já comprovada para a região, devido aos seus múltiplos usos e sua adaptação às condições do semi-árido nordestino. Segundo Agide (1987) apud Silva (2009), o seu sistema radicular é capaz de buscar água a mais de 50 m de profundidade, sendo um fator fundamental para sua capacidade de resistir a secas drásticas. Del Valle et al. (1983) apud Muniz (2009) afirmam que a sua velocidade de crescimento, mesmo em longos períodos de estiagens, e a sua adaptação a solos áridos são fatores suficientes para que haja investimentos na cultura da algaroba.

Segundo Lima (2005), o cultivo da algaroba no semi-árido fez parte de um projeto do governo logo após sua chegada na região do Nordeste, no ano de 1942, em Serra Talhada – Pernambuco, com a finalidade de combater a seca e fornecer alimentos aos animais, como também de servir como matéria-prima para a produção de estacas, lenha e carvão. Com o tempo, a familiaridade do homem do campo com a planta e a presença da sacarose nas vagens, que gera uma boa palatabilidade, fez com que a mesma fosse empregada para alimentação humana em bolos, farinha, doces, mel, dentre outros.

Além de todos os benefícios mencionados, Machado (2010) cita que a algaroba possui alta capacidade de recuperar e fortalecer solos fracos, fertilizando-os através da fixação do nitrogênio no solo, absorvido do ar e fixado pelas bactérias do gênero *Rhizobium*. Por este motivo, é bastante empregada no plantio consorciado com outras espécies, no sentido de melhoramento destas. Geralmente, quando plantada com antecedência de dois anos, a algaroba causa o melhoramento de espécies através de um bom desenvolvimento do capim com mais qualidade proteica, como, por exemplo, o capim búfel (*Cenchrus ciliaries*).

Outro fator bastante favorável à cultura da algaroba no semi-árido, é a sua frutificação, que se dá na época mais seca do ano, quando os estoques de forragens naturais atingem o nível crítico, produzindo cerca de 5 a 15 toneladas de vagens por hectare (FIGUEREDO, 2000). De acordo com Silva et al. (2009),

a algaroba é três vezes mais produtiva (3000 a 8000 kg/ha) do que o milho (600 kg/ha) com uma precipitação pluviométrica duas vezes menor 30mm.

A algarobeira, se ausente do Cariri Ocidental, causaria um grande desequilíbrio ambiental, dado que a mesma está inserida em todas as etapas do extrativismo vegetal, servindo de proteção à vegetação nativa. Assim, a sua cultura está contribuindo de forma ímpar para a economia do semi-árido nordestino (SUASSUNA, 2007).

2.3.3 Aspectos gerais, aplicações e usos das vagens

A importância da algarobeira para o Cariri encontra-se nas suas vagens, que segundo Del Valle et al. (1983), nas regiões onde a planta é nativa, tem servido de alimento pelo homem desde a pré-história. Fundamentalmente, o valor nutritivo de um alimento depende da quantidade de nutrientes que é destinado ao animal, da sua digestibilidade e do seu consumo (BERCHIELLI et al., 2005).

Com valor energético bruto comparável ao milho, as vagens no que se refere ao seu valor nutritivo representam rica fonte de carboidratos e proteínas (STEIN et al., 2002). Segundo Silva et al. (2009) o mesocarpo das vagens de algaroba apresentam 25 a 28% de glicose, 11 a 17% de amido, 7 a 11% de proteína, e 14 a 20% de ácidos orgânicos, pectinas e demais substâncias.

No semi-árido paraibano, as vagens de algaroba apresentam-se de forma achatadas, mais ou menos curvas, com aproximados 20 cm de comprimento, variando de 1 a 2 cm de largura. São compostas de epicarpo coriáceo, de cor amarelo claro, com mesocarpo carnoso rico em sacarose, que pode chegar a 30% da sua composição. Suas sementes são protegidas por uma cápsula resistente advinda do endocarpo lenhoso (SILVA, 2005).

Com relação aos seus inúmeros usos e aplicações, as vagens de algaroba quando trituradas produzem uma farinha que serve para o preparo de um tipo de pão. Já quando são fermentadas, podem ser utilizadas para produzir uma bebida alcoólica, devido ao seu elevado teor de sacarose (FELKER e BANDURSKI, 1977; BECKER e GROSJEAN, 1980).

Através da maceração e cocção das vagens maduras, as mesmas produzem um extrato aquoso que dá origem a um xarope bastante comercializado em alguns países da América Latina, denominado “algarobina”,

usado geralmente, como tônico e adoçante de café e outras bebidas (LEITE FILHO, 2016).

Além dos usos citados, as vagens, quando torradas e quebradas em pequenos pedaços e em seguida moídas, produzem um pó que pode substituir total ou parcialmente o café. O mesmo pó também, pode ser utilizado na produção de ração para animais, substituindo em parte o farelo de milho (LEITE FILHO, 2016 apud FIGUEIREDO, 1975).

Através do extrato concentrado, desenvolve-se a produção de uma bebida (semelhante a um suco) com ótimo paladar, bastante nutritiva e refrescante. Esse mesmo extrato pode ser usado na produção de geleias (GROSSI & FIGUEIREDO, 2000).

No que diz respeito aos aspectos tecnológicos e industriais, as vagens de algaroba podem ser usadas para produzir álcool e bebidas (licor, aguardente, bebida substituta do café, melado, vinagre) como as que são fabricadas por alguns países andinos tais como: aloja, chicha, etole, algarobina, ambas, bebidas fortificantes, estomacais e afrodisíacas. Toda a planta pode ser aproveitada para produzir uma gama satisfatória de produtos derivados da sua industrialização, utilizando-se a madeira, flores, frutos, folhas e raízes contidas na algarobeira (LEITE FILHO, 2016; CAMPELO, 1987).

2.3.4 Trabalhos sobre produção de etanol e a legislação vigente

Para que uma matéria-prima possa servir de substrato fermentativo para obtenção do etanol de forma economicamente viável, é necessário que a mesma seja constituída de grandes quantidades de carboidratos e açúcares na sua composição, que tenha um custo viável de fabricação, bom rendimento industrial e o controle do volume de produção.

Pesquisas na área de biocombustíveis tem crescido bastante nos últimos anos, sobretudo pela motivação por fontes alternativas que venham a diminuir a preocupação mundial no tocante às mudanças climáticas e à possível escassez dos combustíveis fósseis. Nesse contexto, vagens de algaroba têm sido utilizadas para a produção de álcool etílico para uso em bebidas (aguardente), como também na obtenção do bioetanol com base na viabilidade da produção e rendimento, caracterizando o produto final dentro das exigências da legislação vigente.

Silva (2009), trabalhou com a otimização do processo de produção da aguardente de algaroba, como também no aproveitamento dos resíduos sólidos das vagens como subproduto alimentar. Já Muniz (2009), trabalhou com a fermentação semi-sólida da farinha de algaroba, como também a produção do etanol investigando a influência da quantidade de fermento utilizado e a variação do volume do substrato. Leite Filho (2016), também trabalhou com o aproveitamento das vagens de algaroba para produção do etanol. Silva (2007), analisou o processo biotecnológico do etanol produzido a partir do extrato aquoso da farinha de algaroba fermentado pelos microrganismos *Saccharomyces cerevisiae* e *Zymomonas mobilis* e demonstrou que a *Z. mobilis* apresentou maior crescimento em meio padrão sob condição estática e a *S. cerevisiae* foi melhor no substrato sob agitação. De acordo com um planejamento fatorial, concluiu que a maior produção de etanol foi obtida utilizando extrato aquoso da algaroba fermentado por *Z. mobilis* sob condição estática. Todos os trabalhos mencionados obtiveram o produto final caracterizado segundo as normas, cuja regulamentação está sob a competência da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

“Compete à Agência nacional do petróleo, gás natural e biocombustíveis (ANP) toda a regulamentação sobre o etanol. Considerando que compete à ANP implementar a política nacional do petróleo, gás natural e biocombustíveis, com ênfase na garantia do suprimento de derivados de petróleo, gás natural seus derivados e biocombustíveis, em todo o território nacional; considerando que cabe à ANP proteger os interesses dos consumidores quanto à preço, qualidade e oferta de produtos, bem como especificar a qualidade dos derivados de petróleo, gás natural e seus derivados e dos biocombustíveis; considerando o interesse do governo de incrementar a participação dos biocombustíveis na matriz energética nacional; considerando a Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, que define os Biocombustíveis como os combustíveis derivados de biomassa renovável para, dentre outras utilizações, uso em motores à combustão interna”.

Essa regulamentação é regida pela Resolução ANP nº 19, de 15.4.2015 DOU 16.4.2015, que foi republicada no DOU 17.4.2015 e depois no DOU 20.4.2015

3. MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção estão descritas as metodologias utilizadas no desenvolvimento deste trabalho, bem como o estudo da produção do fermentado (vinho) de algaroba utilizando-se a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, como também, a produção do etanol através da destilação alcoólica. A Figura 7 apresenta o fluxograma para obtenção do fermentado (vinho) de algaroba.

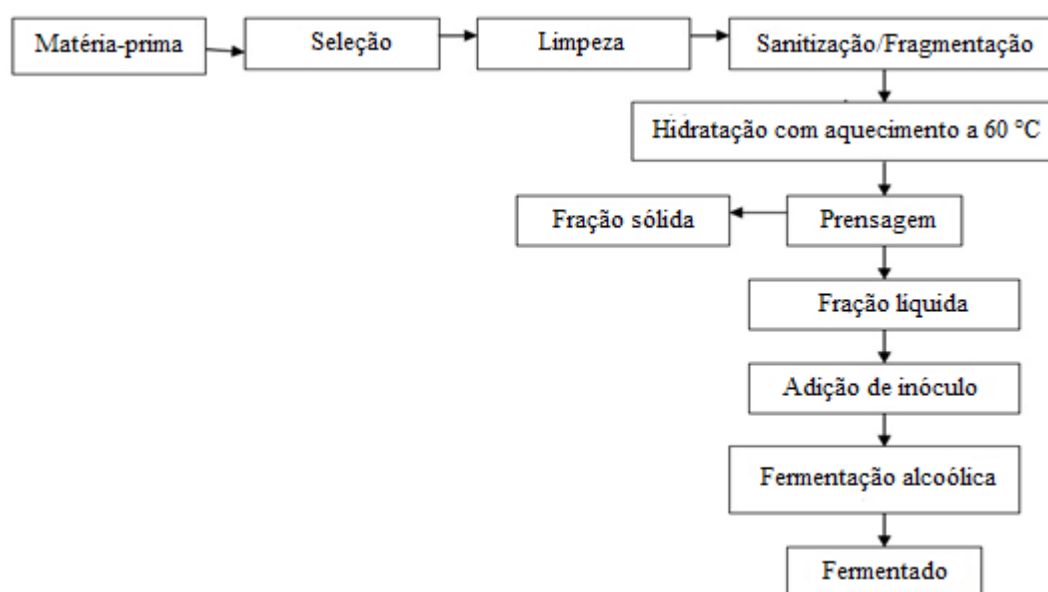


Figura 7: Fluxograma para obtenção do fermentado (vinho) de algaroba

Fonte: Adaptado de Muniz, 2009.

3.1 ÁREA EXPERIMENTAL

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Certificação da Cachaça – LCC da Engenharia de Alimentos - UFPB, com o suporte do Laboratório de Produtos e Fermentos Destilados da Engenharia Química – UFPB e do Laboratório de Engenharia Bioquímica e de Medidas Físicas pertencente ao complexo de laboratórios de Engenharia de Alimentos (LEA) do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais – CTRN, da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.

3.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO E OBTENÇÃO DO FERMENTADO (VINHO) DE ALGAROBA

3.2.1 Matéria-prima

A matéria-prima utilizada foi a vagem madura da algaroba (*Prosopis juliflora* Sw D.C.), proveniente dos municípios de Pocinhos e Sumé, sendo o primeiro, situado na Microrregião do Curimataú Ocidental, pertencente à Mesorregião do Agreste do Estado da Paraíba, e o segundo localizado na região central do Cariri Ocidental Paraibano. As vagens foram coletadas nas proximidades das árvores das algarobeiras, evitando aquelas que apresentavam características indesejáveis como pragas e/ou doenças. Em seguida, o material foi conduzido para o LCC da UFPB. Vale ressaltar que as vagens foram coletadas nas mesmas condições de solo e clima, embora tenham sido obtidas em municípios distintos.

3.2.2 Seleção, limpeza e pesagem

A seleção das vagens foi feita observando seu estado de maturação e conservação, fazendo sempre que possível o descarte daquelas danificadas e defeituosas. Muitas foram removidas por estarem com resquícios de ataques de roedores, fungos e insetos, como também sujeiras grosseiras aderidas à superfície das vagens.

3.2.3 Sanitização

A sanitização foi feita utilizando-se uma solução bactericida de largo espectro (hipoclorito de sódio), que é bastante efetivo contra esporos, fungos e bacteriófagos. As vagens foram imersas nessa solução durante 5 min e em seguida, foi feito o descarte do material residual sanitizante, enxaguando-se as vagens em água corrente. Essa metodologia inicial teve como objetivo maior a prevenção de qualquer tipo de contaminação que poderia vir a ocorrer por meio de microrganismos estranhos ao processo.

3.2.4 Fragmentação

O processo ocorreu de forma manual, partindo-se as vagens em tamanhos variados de 0,5 a 1,5 cm (Figura 8). O propósito desse procedimento foi de aumentar a área de contato entre o solvente (água) e o soluto (açúcares das

vagens), havendo assim uma melhor extração e concentração do caldo de algaroba. Ao final do processo, a massa total das vagens fracionadas foi pesada para serem posteriormente utilizadas no processo de hidratação.



Figura 8: Fragmentação das vagens de algaroba

Fonte: Acervo do autor, 2017.

3.2.5 Hidratação, prensagem e extração

Após a sanitização e fragmentação, as vagens foram submetidas ao processo de hidratação com água aquecida a 60 °C. A proporção utilizada foi de 1:2 (m/v), ou seja, 1 kg de vagem para cada 2 L de água. A mistura água + vagem foi deixada em repouso durante 3 h até que as vagens apresentassem um aspecto macio, no intuito de facilitar a devida extração do caldo (Figura 9A).

Na etapa seguinte, a parte líquida do processo de hidratação foi removida e as frações sólidas das vagens, agora macias devido ao processo de hidratação, foram colocadas em uma prensa hidráulica manual (Figura 9B), composta por um cilindro em aço inox perfurado, com pressão aplicada em Kgf.cm². No processo de prensagem as vagens foram comprimidas na prensa hidráulica gerando o mosto ou caldo da algaroba (Figura 10). No intuito de gerar uma segunda prensagem e obter um melhor aproveitamento do caldo, o resíduo da prensa foi removido e deixado por 1 h submerso na fração líquida da primeira hidratação.



Figura 9: Vagens hidratadas e a prensa hidráulica manual nas imagens 9A e 9B respectivamente.

Fonte: Acervo do autor, 2017.



Figura 10: Caldo obtido da prensagem das vagem.

Fonte: Acervo do autor, 2017.

Em seguida, foram realizadas as medições da temperatura, dos sólidos solúveis totais (SST) e dos açúcares redutores totais (ART) do caldo. Após as medições, o caldo foi acondicionado em recipientes de PVC sob refrigeração, no intuito de congelá-lo para evitar qualquer alteração nas suas características e permitir o seu uso posterior no processo de fermentação.

3.2.5 Fermentação alcoólica

Para o processo de fermentação, foi utilizado como metodologia o procedimento tradicional para produção de aguardente de cana-de-açúcar, raízes e frutos exóticos, com algumas adaptações, apropriadas às características particulares das vagens da algaroba (SEBRAE, 2012).

3.2.5.1 Preparação do inóculo

Deu-se início à preparação do inóculo (Figura 11), reservando-se 1,5 L do caldo para ser aquecido a uma temperatura de 30°C. No intuito de facilitar a desagregação das partículas, a suspensão foi agitada de 3 a 5 min e, após ser atingida a temperatura de 30°C, o fermento biológico seco foi adicionado.



Figura 11: Preparo do inóculo

Fonte: Acervo do autor, 2017.

O processo de fermentação foi realizado com a levedura *S. cerevisiae* do tipo comercial granulado seco (fermento Fleischman®), adquiridas no comércio local. A proporção utilizada foi de 20 g L⁻¹ do caldo total. A inoculação foi feita com o auxílio de uma espátula metálica, agitando-se manualmente até a completa dissolução. Uma vez preparado o sistema (reator + meio inoculado), iniciou-se a fermentação utilizando um recipiente de alumínio (caldeirão), no qual foram misturados lentamente o inóculo e o caldo a ser fermentado.

No decorrer da fermentação alcoólica, foi realizado um estudo das velocidades de transformações físico-químicas que ocorrem no processo, conferindo-se assim a evolução dos sólidos solúveis totais, pH, temperatura e o

teor alcoólico. Após 14 h a fermentação alcoólica foi dada como finalizada, seguindo-se então para as análises físico-químicas do caldo fermentado, no intuito de prepará-lo para a etapa da destilação.

O fluxograma da Figura 12 mostra o procedimento da destilação alcoólica para produção do etanol a partir do fermentado das vagens de algaroba.

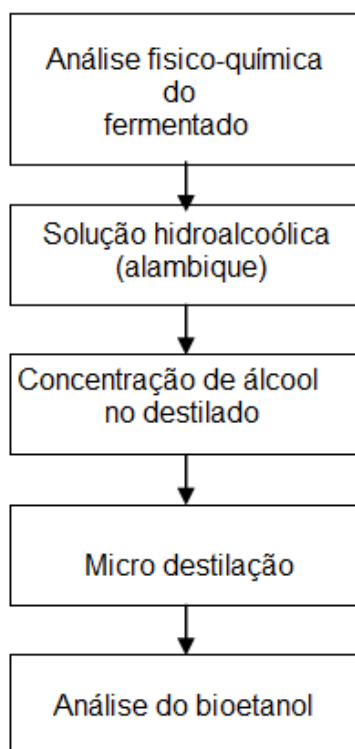


Figura 12: Fluxograma experimental para obtenção do etanol através das vagens da algaroba.
Fonte: Acervo do autor, 2016.

3.2.6.2 Determinação dos açúcares redutores totais (ART)

A metodologia utilizada para determinação dos açúcares redutores totais foi a de DNS (Ácido 3,5 Dinitro Salicílico) descrita por Miller (1959). O equipamento usado para fazer as leituras foi o espectrofotômetro tipo UV, na leitura de 540nm.

O método baseia-se na redução do ácido 3,5 a ácido 3- amino-5 nitrosalicílico, concomitantemente com a oxidação do grupo aldeído do açúcar a grupo carboxílico, que após aquecimento a solução torna-se avermelhada, sendo lida no espectrofotômetro a 540 nm conforme procedimento da EMBRAPA CNPAT. O ART foi calculado pela Equação 2:

$$ART = Abs \times F \times F_{\text{diluição}} \quad (2)$$

em que:

ART – é o teor de açúcares redutores totais,

Abs – é a Absorbância,

F – é o fator de conversão de *Abs* em *ART* e

F_{diluição} – é o fator de diluição.

3.2.6.3 Determinação de sólidos solúveis totais (°Brix)

Durante o processo de fermentação, o teor de sólidos solúveis totais do caldo fermentado foi medido em °Brix por densimetria, utilizando-se de um sacarímetro de Brix de uma proveta graduada de 250 mL. A leitura foi corrigida segundo a metodologia descrita por Brasil (2005) para a temperatura do caldo a 25 °C.

3.2.6.4 Determinação do pH

Para determinação do pH foram retirados 10 mL da amostra, que foram transferidos para um tubo de ensaio a uma temperatura de 26 °C. O equipamento utilizado foi o pHmetro digital da marca Tecnal modelo TEC-2, que foi calibrado pelo método potenciométrico com soluções tampões de pH 7,0 e pH 4,0 (BRASIL, 2005).

3.2.6.5 Determinação da temperatura

Para a determinação da temperatura foi utilizado termômetro digital tipo espeto da marca HG modelo AF1104.

3.2.6.5.1 Determinação do teor de álcool do fermentado

Foi utilizado um ebuliômetro para determinar o teor de álcool no fermentado, por meio da diferença entre as temperaturas de ebulição da solução

e da água destilada. Com base nessa comparação foram calculados a partir de uma amostra do fermentado o seu ponto de ebulição e, com auxílio de uma régua referencial determinou-se o percentual de álcool (v/v) ou valor de etanol. Esse valor é um índice que determina o momento em que o fermentado está adequado para a fase da destilação alcoólica, sendo ideal, quando alcançados os valores entre 8 e 9.

O processo consistiu em retirar uma amostra de 50 mL do volume total obtido após a fermentação, para serem inseridos no ebulliômetro. Em seguida, foi adicionada água destilada ao condensador e, posteriormente, aqueceu-se o ebulliômetro até a estabilização da temperatura, cujo valor foi de 94°C. Logo em seguida, foi conferido na régua o teor alcoólico ou o valor de etanol da amostra.

3.2.6.6 Cálculo de produtividade, rendimento de conversão do substrato em produto, percentual conversão e produção de álcool por quilo de vagem.

3.2.6.6.1 Cálculo da produtividade ($\text{g L}^{-1} \text{h}^{-1}$)

Para saber a quantidade de álcool produzido por hora, foi utilizada a seguinte Equação (3).

$$\text{Produtividade } (\text{g L}^{-1} \text{h}^{-1}) = \frac{P(\text{g / L})}{T(\text{h})} \quad (3)$$

em que:

P - é a concentração de etanol (g L^{-1}) e

t - é o tempo de fermentação (h)

3.2.6.6.2 Rendimento teórico ($Y_{p/s}$)

Para determinar a conversão (da sacarose) do fermentado em produto (etanol) foi utilizada a Equação (4).

$$Y_{p/s} = \frac{P - P_0}{S_0 - S} \quad (4)$$

Em que:

S – é a concentração final de substrato (g L^{-1}),

S_0 – é a concentração inicial de substrato (g L^{-1}),

P – é a concentração final de produto (g L^{-1}) e

P_0 – é a concentração inicial de produto (g L^{-1}).

3.2.6.6.3 Percentual de conversão (%)

O percentual de conversão do fermentado em etanol antes da destilação foi calculado pela Equação 5.

$$\text{Conversão (\%)} = \frac{P}{S_0 \times 0,511} \times 100 \quad (5)$$

Em que:

P – é a concentração de etanol experimental,

S_0 – é a concentração inicial de substrato ($^{\circ}\text{Brix}$) e

0,511 – é o fator de conversão de sacarose em etanol.

3.2.6.6.4 Produção de etanol por quilograma de vagem

A produtividade de etanol por quilograma de vagem foi calculada pela Equação 6

$$Pq = \frac{42 \times P}{S_0} / 100 \quad (6)$$

Em que:

Pq – é a produção por quilograma (L kg^{-1}),

P – é a concentração de etanol obtida experimentalmente,

S_0 – é a concentração inicial de substrato ($^{\circ}\text{Brix}$) e

42 – é a concentração de substrato por litro de caldo proveniente de um quilo de vagem.

3.3 SOLUÇÃO HIDROALCOÓLICA

O equipamento utilizado para destilação do caldo fermentado foi um alambique artesanal, dimensionado para fornalha e com uma caldeira cuja capacidade é de 25 L úteis. O mesmo é confeccionado em cobre, possuindo um conjunto composto de caldeira – coluna de destilação de álcool – capitel e condensador (Figura 13).

O processo de destilação teve início a partir da inserção do caldo fermentado no alambique. Em seguida, a caldeira foi aquecida por meio de uma chama direta através de um queimador com gás butano, com o objetivo de elevar a temperatura a 94°C. O vapor produzido na caldeira constituído de produtos mais voláteis e moléculas de água arrastadas, teve sentido ascendente na coluna de destilação. A medida que esse vapor foi se elevando, sua temperatura diminuiu aos poucos e o vapor menos volátil (água) se condensou, formando um fluxo descendente, assim sendo, iniciou-se o processo de produção da solução hidroalcoólica.



Figura 13: Destilador de cobre adaptado para produzir soluções hidroalcoólicas.
Fonte: Acervo do autor, 2017.

A solução hidroalcoólica foi retirada pela saída do condensador do alambique por gotejamento até o completo enchimento de uma proveta

graduada de 250 mL. Na medida em que a mesma era preenchida, foram medidos o teor alcoólico e, em seguida, as amostras foram armazenadas em garrafas de vidro, separando-as de acordo com o seu teor alcoólico.

3.3.1 Concentração de álcool no destilado

Para determinação das concentrações de álcool após a destilação no alambique, utilizou-se um alcoômetro de Gay Lussac mergulhado em uma proveta graduada de 250 mL. Os resultados das leituras, foram então corrigidos à temperatura de 20°C.

3.3.2 Micro destilação

No intuito de atender os requisitos mínimos para o uso do álcool em combustíveis, inseriu-se os destilados recém-obtidos do alambique, em um micro destilador com o objetivo de obter um maior teor alcoólico na solução. O equipamento usado no processo foi o Micro destilador da fabricante Nova Orgânica, com capacidade máxima de destilação de 50 mL, no qual a imagem (A) mostra o equipamento utilizado para segunda destilação. Na imagem (B) observa-se o início do procedimento, onde foram utilizados o álcool obtido na primeira destilação, armazenados nas garrafas de vidro com as anotações de seus respectivos teores alcoólicos (Figura 14).

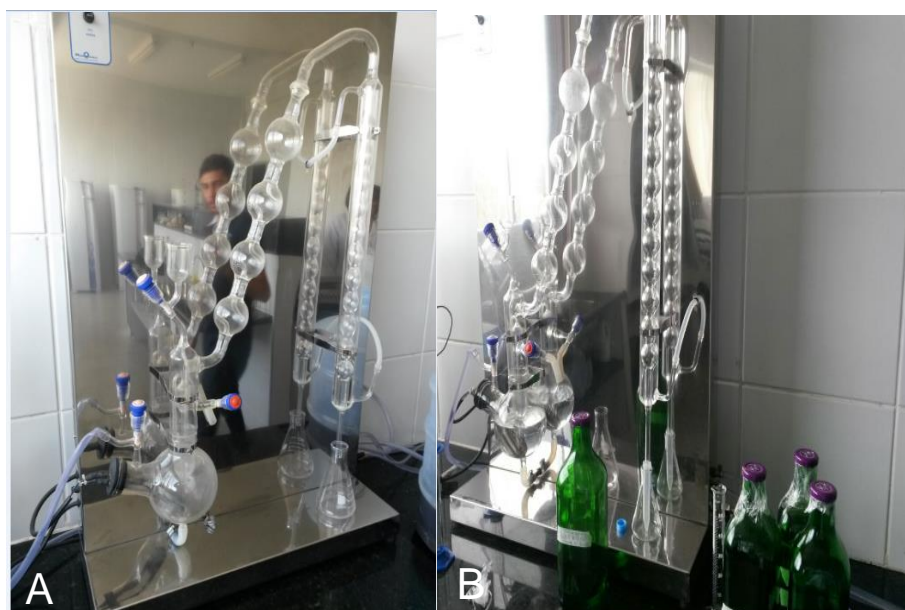


Figura 14: Micro destilador de álcool
Fonte: Acervo do autor, 2017.

3.4 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO ETANOL

O etanol foi caracterizado de acordo com a Resolução da ANP nº 19, de 15.4.2015 (DOU, 2015). A Tabela 1 apresenta os parâmetros para a certificação do Etanol Hidratado Combustível (EHC) no Brasil.

Tabela 1: Especificações do (EHC).

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE	MÉTODO	
		EHC	NBR	ASTM/EM/ISO
Aspecto		Límpido e Isento de Impurezas (LII)	Visual	
Cor			Visual	
Condutividade elétrica máx.	µS/m	300	10547	ISO 17308
Massa específica a 20°C	kg/m³	805,2 a 811,2	5992 15639	D 4052
Teor alcoólico	% massa	92,5 a 94,6	5992 15639	
Potencial hidrogeniônico (pH)	-	6,0 a 8,0	-	-
Teor de etanol, min.	% volume	94,5		D5501
Resíduo por evaporação, máx.	mg/100mL	5	-	-
Acidez total, máx. (em miligramas de ácido acético)	mg/L	30		ISO 17315

Fonte: Diário Oficial da União, publicado em 17 de abril de 2015.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos no processo de obtenção do álcool etílico hidratado, através da destilação do fermentado de algaroba para a produção do etanol, comparando os parâmetros estudados neste trabalho com os padrões exigidos pela legislação brasileira com relação às análises físico-químicas.

4.1 PROCESSO DE FERMENTAÇÃO

A fermentação apresentou aspectos satisfatórios, sobretudo do ponto de vista visual. Logo após a adição do fermento granulado, já foi possível perceber a formação de bolhas de CO₂, evidenciando a fácil adaptação da levedura ao meio. Após um período de 2 h, houve uma grande evolução do processo com maior velocidade na formação de bolhas. A Figura 15 mostra Início, meio e fim (no sentido da esquerda para direita) da fermentação, utilizando o inóculo preparado com a *Saccharomyces cerevisiae* do tipo comercial granulado seco Fleischman®.



Figura 15: Processo de fermentação utilizando o inóculo no caldo da algaroba
Fonte: Acervo do autor, 2016.

Antes da fermentação o volume inicial do caldo foi de 16,13L com 21,45°Brix e a quantidade de fermento granulado seco utilizado ao final do

processo de inoculação foi 322,6g. O final da fermentação foi considerado quando o meio atingiu o valor de 4°Brix na temperatura de 28 °C com tempo aproximado de 14 h e volume final do caldo fermentado de 13,6 L. A temperatura do mosto permaneceu na temperatura ótima para as leveduras (26 a 35 °C) nas medições feitas durante o processo.

Com relação ao tempo de fermentação Leite Filho (2016), também finalizou com 14 h a fermentação iniciada com 20 °Brix para produção do etanol a partir das vagens de algaroba. Muniz (2009) finalizou a fermentação do caldo de algaroba com um tempo médio de 18 h, variando as concentrações de leveduras em 10, 15 e 20 g L⁻¹ e a quantidade de substrato em 10, 15, 21 °Brix.

DETERMINAÇÃO DOS AÇÚCARES REDUTORES TOTAIS (ART)

A determinação dos ART pelo método do DNS, demonstrou que as concentrações inicial e final de sacarose foram de 148,9 e 37 g L⁻¹ respectivamente. Esse resultado revela que houve um consumo de 74,76% do substrato em 14 h de fermentação.

Muniz (2009) no seu trabalho com algaroba obteve em 18 h de fermentação um consumo de ART de 97%. Já Silva (2009) trabalhando na produção de aguardente de algaroba, finalizou a fermentação com 32 h, obtendo um consumo de ART de 80%.

4.4 EVOLUÇÃO DOS VALORES DE SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS (°BRIX)

Medir o °Brix significa indicar o teor aproximado de açúcar no mosto antes e depois da fermentação; sendo assim, 10% de açúcar estão contidos em um mosto com 10 °Brix. Considerando que cada 2 °Brix produz aproximadamente 1°GL após a fermentação, os resultados descritos a seguir demonstram a quantidade de açúcar consumido durante a fermentação.

A Figura 16 apresenta a evolução dos valores de sólidos solúveis totais a cada 2 h de fermentação.



Figura 16: Evolução dos sólidos solúveis totais durante os ensaios de fermentação (°Brix)
Fonte: Acervo do autor, 2017.

Como pode ser observado, os açúcares foram consumidos em função do tempo de fermentação, o que foi demonstrado pela redução do °Brix de 21 para 4° Brix entre o início e o fim do processo, respectivamente, que pode ser considerado satisfatório para o processo de fermentação alcoólica.

Segundo Aquarone (1983) o valor final do °Brix pós-fermentação deve ser o mais próximo de zero possível, fato que não foi observado neste trabalho conforme a Figura 16. O mesmo fato foi constatado por Arruda et al. (2003) no trabalho realizado com fermentado de banana utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, no qual o consumo gradual dos sólidos solúveis totais durante todo o processo finalizou com um valor de °Brix em torno de 3,5. No estudo envolvendo o fermentado de mandacaru, Almeida et al. (2009) também verificaram uma redução gradativa no teor de sólidos solúveis totais, chegando ao final do experimento a um valor de °Brix em torno de 5,0.

4.5 EVOLUÇÃO DOS VALORES DO TEOR ALCOÓLICO (°GL)

A temperatura de ebulição das amostras tem relação direta com a quantidade de álcool presente na mistura álcool-água por meio da diferença entre as temperaturas de ebulição da água pura e da solução. Deste modo, com o auxílio de uma régua referencial, foram obtidos os valores de graduação alcoólica a partir das alíquotas de 50 ml que foram sendo retiradas de 2 em 2 horas. As evoluções dos valores do teor alcoólico foram percebíveis a partir do

momento em que foram feitas medições com o ebuliômetro ao longo do ensaio de fermentação, o que possibilitou um melhor entendimento do perfil cinético demonstrado na Figura 17:

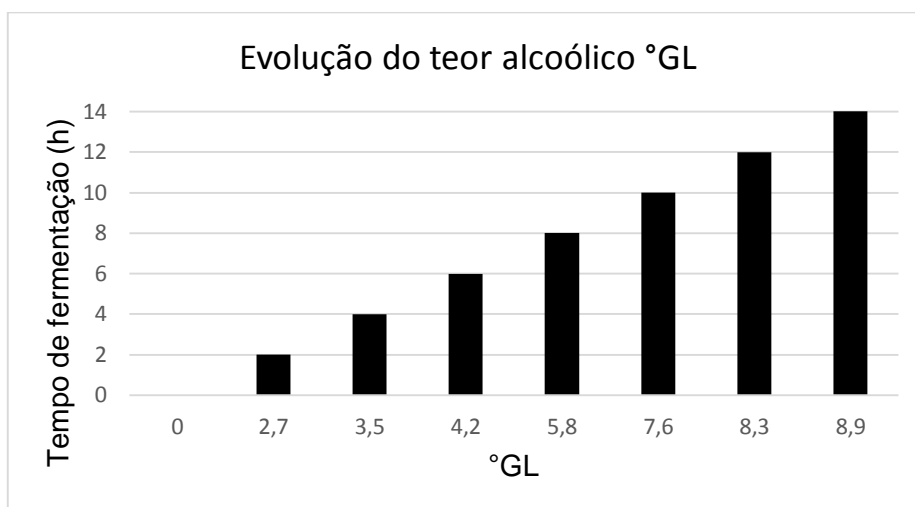


Figura 17: Evolução do teor alcoólico do mosto em função do tempo de fermentação.
Fonte: Acervo do autor, 2016.

Na Figura 17, é possível observar a evolução do teor alcoólico do mosto de fermentação em função do tempo, evidenciando assim o desenvolvimento satisfatório da fermentação, bem como a conversão dos açúcares em etanol. O teor alcoólico do fermentado no final do processo foi de 9 °GL, adequando-se ao índice de 8 a 9 que é considerado ideal para que se pudesse realizar a etapa da destilação alcoólica. Nunes et al. (2008), estudando a destilação do fermentado de abacaxi a partir de 13,5 L de mosto, obtiveram, teor alcoólico de 9,6° GL.

4.6 DETERMINAÇÃO DOS VALORES DE pH

O pH é um dos principais parâmetros analisados nas fermentações industriais pela sua importância no controle de contaminação por bactérias, ao seu efeito sobre o crescimento de leveduras e à formação de subprodutos (PATARO et al., 2002).

Neste sentido os valores de pH foram medidos no início e no fim da fermentação, cujos valores encontrados foram 4,5 e 5,0. Para as leveduras o valor de pH considerado ideal é de 4,0 e 4,5. Apesar do aumento dos valores de pH para o processo fermentativo, pode-se considerar que tenha se aproximado de uma condição satisfatória para o desenvolvimento da fermentação.

Leite Filho (2016) no seu trabalho de produção do etanol a partir das vagens de algaroba encontrou valores diferentes, com pH entre 3,6 e 4,2. Comportamento semelhante foi observado por Bortolini et al. (2001), em trabalhos com fermentados com kiwi, no qual verificaram uma faixa para o pH entre 3,82 a 4,45.

4.7 DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA

O controle da temperatura é um fator de extrema importância, pois uma variação entre 25 a 33 °C permite atingir altos rendimentos por permitir uma fermentação mais eficiente e também por minimizar as perdas por evaporação (AQUARONE et al., 1983). A temperatura do mosto antes da fermentação foi de 30 °C chegando a 28 °C ao final do processo.

4.8 CÁLCULO DE PRODUTIVIDADE ($\text{g L}^{-1}\text{h}^{-1}$)

A produtividade calculada resultou em 5,09 $\text{g L}^{-1}\text{h}^{-1}$ para o tempo de fermentação de 14 h, o que correspondeu a uma concentração final de etanol de 71 g L^{-1} . O valor de produtividade foi superior aos valores encontrados por Almeida et al. (2006), que realizaram o estudo cinético da fermentação alcoólica na produção do fermentado de fruto de mandacaru, atingiram uma produtividade de 1,75 $\text{g L}^{-1}\text{h}^{-1}$, enquanto que Rocha (2008) chegou a 1,53 $\text{g L}^{-1}\text{h}^{-1}$ trabalhando com aguardente a partir do figo-da-índia. Esse resultado, foi muito próximo ao valor encontrado por Silva (2008), que obteve 6 $\text{g L}^{-1}\text{h}^{-1}$ trabalhando com aguardente de algaroba.

4.9 RENDIMENTO TEÓRICO (YP/S)

Os rendimentos de conversão do substrato em produto foram calculados com base nos resultados 71, 148 e 37,5 g L^{-1} para a concentração de etanol, a concentração inicial de substrato e a concentração final do substrato, respectivamente. O valor do rendimento teórico foi de 64% para um teor inicial de sólidos solúveis totais de 21,45 °Brix. Parente (2014) obteve resultados aproximados na produção de aguardente de abacaxi (40 a 50%) para um mosto

inicial contendo 17 °Brix. Silva (2009) obteve resultado próximo de 44% para um °Brix inicial de 17 na produção de aguardente de algaroba.

4.10 PERCENTUAL DE CONVERSÃO

A fermentação do extrato de algaroba produziu 71,3 g L⁻¹ de etanol para uma concentração inicial de sacarose de 148,9 g L⁻¹. Assim a eficiência atingida no processo foi de 93,65 %, valor consideravelmente maior do que os resultados encontrados por Silva (2002) em estudos de extração do caldo de algaroba para a produção de aguardente, quando obteve apenas 72 %. Por outro lado, Muniz (2009) obteve 74,3% de conversão em seus estudos de fermentação alcoólica de caldo de algaroba. Entretanto, o valor obtido foi um pouco inferior ao encontrado por Fontan (2011) ao investigar a produção de vinho de melancia, quando alcançou um percentual de conversão de 94%. A diferença do percentual de conversão desses trabalhos se atribui ao tipo de metodologia empregada e a forma de condução de cada processo.

4.11 PRODUÇÃO DE ÁLCOOL POR QUILO DE VAGEM (LKG⁻¹)

O valor referente à produção de etanol por quilo de vagem foi calculado e esse correspondeu a 0,2 L kg⁻¹. Trata-se de um resultado interessante porque a produção média de etanol por quilograma de cana de açúcar é de 0,085 a 0,09 L kg⁻¹ (LEITE FILHO, 2016)

A Tabela (2) apresenta um resumo dos resultados de produtividade, rendimento teórico, percentual de conversão, produção de álcool por quilo de vagem (Pq), °Brix, temperatura, pH, densidade do caldo de algaroba, ART e a concentração de álcool no fermentado.

Tabela 2: Perfil geral da fermentação alcoólica das vagens de algaroba

Tempo (h)	Temp (°C)	pH	Art (g/L)	SST (°Brix)	Etanol °GL	Etanol (g/L)
0	30,00	4,5	148,905	21,45	0	0
14	28,0	5,0	37,58	4	9	71,26
	Pq (L/kg)	Yp/s	Produtividade (g/Lh)	Conversão (%)	Densidade (g/ml)	
	0,2	0,64	5,09	93,65	1,066	

Fonte: Acervo do autor (2017).

4.12 DESTILAÇÃO

A destilação do caldo fermentado de algaroba foi realizada em um alambique de cobre adaptado, com o objetivo inicial de se recuperar uma fração hidroalcoólica impura ainda contendo álcoois superiores, aldeídos, ésteres e ácidos orgânicos. A Figura 18 apresenta o perfil da destilação do fermentado no alambique em que, alíquotas de 250 mL foram retiradas sequencialmente para a leitura do teor alcoólico.

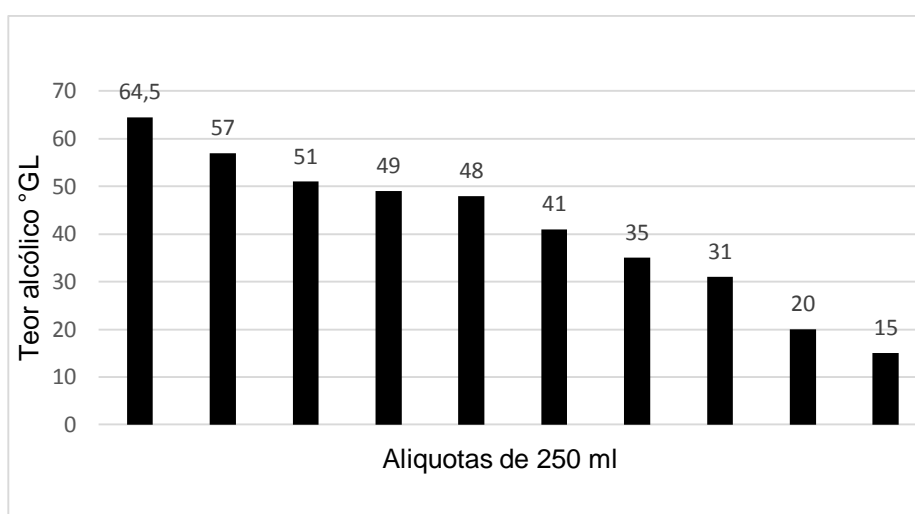


Figura 18: Gráfico do comportamento do teor alcoólico na destilação do fermentado de algaroba.
Fonte: Acervo do autor, 2017.

A Figura 18 demonstra que o destilado teve inicialmente na primeira alíquota um teor alcoólico de 64,5°GL. A partir da segunda alíquota em diante, observou-se em média uma diminuição de 4,9°GL em relação à alíquota anterior. Esse decréscimo do teor alcoólico das alíquotas se deu em função do tempo de destilação no alambique, sobretudo, pela aproximação do ponto azeotrópico e pela diminuição da concentração de álcool no fermentado de algaroba.

4.13 OBTENÇÃO DO ETANOL HIDRATADO CARBURANTE POR MICRO DESTILAÇÃO (EHC)

Para obter o etanol hidratado carburante (EHC), uma segunda destilação foi realizada por meio de um micro destilador de álcool, visando obter um álcool

de qualidade superior ao advindo da destilação simples. Provavelmente esta segunda destilação, favorece a separação de frações indesejáveis de compostos voláteis com teores tóxicos (aldeídos, metanol, ácido acético). Desta forma, sugere-se que o álcool poderá estar isento de impurezas.

Para determinar a quantidade de álcool extraída no micro destilador, as alíquotas de 250 mL foram sendo inseridas no micro destilador na ordem do maior para o menor teor alcoólico. Cada alíquota apresentou um valor em °GL característico e o volume processado totalizou 2,5 L, que foram então convertidos em etanol hidratado.

Foram calculados os volumes de entrada e de saída no micro destilador para não deixar que a água contida nas amostras passasse em quantidades que pudessem comprometer o teor alcoólico na destilação. Para determinação desse processo, utilizou-se uma regra de três simples que levou em consideração a capacidade máxima em volume do micro destilador (50 mL), a porcentagem em volume preenchido no micro destilador (100 mL) e a porcentagem do teor alcoólico da primeira alíquota extraída do alambique, por onde se calculou o volume de álcool em mL obtido após a micro destilação. Por exemplo, os cálculos utilizando a primeira alíquota de 250 mL obtida do alambique, cujo teor alcoólico foi de 64,5 °GL, resultou em volume nominal de 32,5 mL.

Para a primeira alíquota de 250 mL, com teor alcoólico de 64,5 °GL, obteve-se 162,5 mL de álcool hidratado carburante. Todas as demais alíquotas e seus respectivos °GL tiveram o mesmo sistema de cálculo e à medida que o álcool era retirado, esse era armazenado em garrafa de vidro para medir posteriormente o teor alcoólico do volume total obtido. Na Tabela 3 podem ser observados os valores obtidos na ordem sequencial do processo.

Tabela (3): Valores obtidos no processo de micro destilação

Alíquota Hidroalcoólica (°GL)	Volume das Alíquotas (ml)	Volume de álcool obtido a cada 50ml	Volume total de álcool obtido de cada Alíquota (ml)
64,5	250	32,25	161,25
57	250	28,5	142,5
51	250	25,5	127,5
49	250	24,5	122,5
48	250	24	120
41	250	20,5	102,5
35	250	17,5	87,5
31	250	15,5	77,5
20	250	10	50
15	250	7,5	37,5
		TOTAL	1028,75

Fonte: Acervo do autor (2017).

4.14 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO ETANOL HIDRATADO CARBURANTE EHC

Tabela 4: Características físico-químicas do etanol de algaroba confrontadas com a legislação vigente.

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE	MÉTODO		RESULTADO
		EHC	NBR	ASTM/EM/ISO	
Aspecto		Límpido e Isento de Impurezas (LII)	Visual		Límpido
Cor			Visual		Incolor
Condutividade elétrica máx.	µS/m	300	10547	ISO 17308	282,33
Massa específica a 20°C	kg/m³	805,2 a 811,2	5992 15639	D 4052	809
Teor alcoólico	% massa	92,5 a 94,6	5992 15639		92
Potencial hidrogeniônico (pH)	-	6,0 a 8,0	-	-	6,22
Teor de etanol, min.	% volume	94,5		D5501	94,2
Resíduo por evaporação, máx.	mg/100mL	5	-	-	
Acidez total, máx. (em miligramas de ácido acético)	mg/L	30		ISO 17315	28,2

Fonte: Adaptado do Diário Oficial da União, publicado em 16 de abril de 2015.

O produto obtido foi o etanol livre de impurezas com acidez de 28,2 mg de ácido acético, com condutividade elétrica de 282,33 µS/m⁻¹, massa específica de 809kgm⁻³, teor alcoólico de 92°GL, pH de 6,22 e ausência de resíduo por

evaporação total de 100 mL de amostra. O teor alcoólico obtido de 92°GL pode ser considerado adequado, embora tenha ficado 0,5°GL abaixo do limite pré-estabelecido pela ANP, o que pode ser resolvido com uma segunda etapa de micro destilação. Com relação aos demais parâmetros todos atenderam à legislação vigente.

Com os dados obtidos, constatou-se que há viabilidade técnica para produzir o etanol a partir do fermentado da vagem de algaroba, utilizando a levedura *Sacharomyces cerevisiae* como agente fermentativo, colocando, assim, mais um produto no mercado a ser ofertado pelos pequenos produtores rurais no intuito de gerar mais uma renda para a agricultura familiar.

5. CONCLUSÃO

- ✓ A produção do etanol a partir do fermentado do caldo (vinho) da algaroba é tecnicamente viável.
- ✓ O etanol produzido atende à legislação vigente, sendo uma boa alternativa como fonte energética de combustível veicular.
- ✓ As vagens de algaroba podem ser utilizadas como matéria-prima alternativa à cana-de-açúcar.
- ✓ A obtenção do etanol a partir das vagens de algaroba pode colaborar com a redução dos impactos ambientais oriundos da utilização dos combustíveis não renováveis.
- ✓ A produção do etanol de vagem de algaroba pode ser uma fonte adicional de renda e de esperança para o agricultor familiar dos municípios do Cariri Paraibano contra os impactos da seca.

5. REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Evolução do Mercado de combustíveis e derivados: 2000-2012**. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em <<http://www.anp.gov.br/?id=711>>. Acessado em: 25 julho 2016.
- AGIDE, G. N. **Considerações sobre a algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw) D.C.)**. Instituto de Tecnologia de Alimentos. São Paulo. 1987. 27p. (ITA-SP, Boletim Técnico). Disponível em: <http://bases.bireme.br/cgi> Acesso em: 27 de ago 2016.
- AIE – Agência Internacional de Energia. **World Energy Outlook**, Paris, 2014.
- ALMEIDA, M.M.; CONRADO, L. de S.; SILVA, F.L.H. da; FREIRE, R.M.M.; VALENÇA, A.R. **Caracterização de frutos do mandacaru provenientes de duas cidades paraibanas**. Ver. Brasileira de Produtos Agroindustriais, v.11, p.15-20, 2009.
- ALMEIDA, M.M.D.; TAVARES, D.P.S.D.A.; ROCHA, A.S.; OLIVEIRA, L.D.S.C.; SILVA, F. L. H.; MOTA, J. C. **Cinética da produção do fermentado do fruto do mandacaru**. Rev. Brasileira de produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.8, n.1, p.35-42, 2006 ISSN: 1517-8595.
- ALVES, T. L. B.; AZEVEDO, P. V.; FARIAS, A. A. **Comportamento da precipitação pluvial e sua relação com o relevo nas microrregiões do Cariri Oriental e Ocidental do estado da Paraíba**. Revista Brasileira de Geografia Física v.08, n.06 (2015) 1601-1614
- AQUARONE, E.; LIMA, U. de A.; BORZANI, W. **Alimentos e bebidas produzidos por fermentação: biotecnologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1983. v. 5, 43 p.
- ARRUDA, A.R.; CASIMIRO, R.S.; GARRUTI, D.S.; ABREU, F.A.P. **Processamento de bebida fermentada de banana**. Revista Ciência Agronômica, v.34, n.2, p.161-167, 2003.
- BECKER, R.; GROSJEAN, O. K. **A Compositional study of pods of two varieties of mesquite (*Prosopis glandulosa*, *P. velutina*)**. J. Agric. Food Chem. V.28, f.22-26, 1980.
- BERCHIELLI, T. T; OLIVEIRA, S. G.; GARCIA, A.V. **Aplicação de técnicas para estudos de ingestão, composição da dieta e digestibilidade**. Archives of Veterinary Science, v.10, n.2, p.29-40, 2005.
- BNDES E CGEE. (Org.). **Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: BNDES, 2008. 316 p. DC, 2007. Disponível em: <http://www.cei.org/pdf/5774.pdf>. Acessado em: 08 agosto 2016.

BRASIL, Resolução nº 19, de 15 de abril de 2015. Especificações técnicas do etanol hidratado combustível, Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, Seção I, publicado em 17 de abril de 2015.

CAMPELO, R. **Algarobeira: alternativa para o semi-árido brasileiro**. Maceió, AL: UFAL, 1987. 25f. (UFAL. Informe Técnico).

CARVALHO, G. B. M.; BENTO, C. V.; SILVA, J. B. A. **Elementos Biotecnológicos fundamentais no processo cervejeiro: 1ª parte – As Leveduras**. Revista Analytica. n. 25, p. 46-54, 2006.

CAVALCANTE, A. R. **O sistema de produção do etanol: sustentabilidade e perspectivas**. 2010. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Técnico em Produção Industrial, Faculdade de Tecnologia de Taquaritinga, Taquaritinga, 2010.

COHEN, M.; DUQUÉ, G. **Le deux visages du Sertão: Stratégies paysannes face aux sécheresses (Nordeste du Brésil)**. Éditions de L'IRD. Paris, 2001. Curitiba: Editora UFPR, 248p. 2002.

DEL VALLE, F. R.; ESCOBEDO, M.; MUÑOZ, M. J. Chemical and nutritional studies on mesquite beans (*Prosopis juliflora*). **Journal of Food Science**, v.48, p.914-919, 1983.

EBAH - **Propriedades físicas, oxidação e reação de álcoois**. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAepIYAH/propriedades-fisicas-oxidacao-reacao-alcoois>. Acesso em 25 de outubro de 2016.

EMBRAPA. **Aquecimento Global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. São Paulo – ago. 2008. Disponível em: <http://www.embrapa.br/publicacoes/tecnico/aquecimentoglobal.pdf>. Acessado em: 17 de dezembro 2016.

Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2016: Ano base 2015** – Rio de Janeiro: EPE, 2016.

FELKER, P.; BANDURSKI, R. S. **Protein and amino acid composition of tree legume seeds**. Journal of the Science of Food and Agriculture v.28, f.791-797, 1977.

FIGUEIREDO, A. A. **“Lebensmitte lelremiscere relevante ineraltroffe der sceroten der algarobeira (Prosopis juliflora DC)”**. 1975. Tese (Doutorado em Lebensmittelwissenschaft und Technologie) Julius Maximilians. Universitat Wurzburg. Alemanha. 105f.

FIGUEIREDO, A. A. **Algaroba, Tecnologia, Produtos e Usos – Meio Século no Brasil**. Rio de Janeiro – UFRJ, 2000, 17p.

GOLDEMBERG, J.; NIGRO, F. E. B.; COELHO, S. T. **Bioenergia no Estado de São Paulo: situação atual, perspectivas, barreiras e propostas.** São Paulo: Imprensa Oficial, 2008.

GROSSI, J. L. S.; FIGUEIREDO A. A. **Elaboração e composição de uma geléia formulada com polpa de vagens de algarobeira (Prosopis juliflora DC).** In:

CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 16, 2000, Fortaleza. Anais... Disponível em: <<http://acd.ufrj.br/algaroba/main.html>>. Acesso em: 23 de junho 2014.

IBGE. Estimativas populacionais para os municípios e para as Unidades da Federação brasileiros em 01.07.2015. Disponível em: ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2015/estimativa_do_u_2015_20150915.pdf Acesso em: 12/11/2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2009. **Manual técnico de geomorfologia.** Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro. Mao, D., Wang, Z., Luo, L., Ren, C., 2012.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate Change 2014 Synthesis Report Fifth Assessment Report.** Disponível em <<http://ar5-syr.ipcc.ch/>>. Acesso em 10/09/2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. Glossary of terms. In: **Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation:** a special report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge: Cambridge University Press, 2012. p. 555-564. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/pdf/specialreports/srex/SREX-Annex_Glossary.pdf>. Acesso em: 01/09/2016.

IPEA, INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, **Sustentabilidade Ambiental no Brasil: Biodiversidade, economia e bem-estar humano.** Livro 07, (pag. 17- 47 e 129-176) 2010.

LEITE FILHO, M. T. **Obtenção de álcool a partir do caldo extraído de vagens de algaroba (prosopis juliflora sw dc).** Dissertação de Mestrado para Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG – PB, 2016.

LIMA, L. R.; MARCONDES, A. A. **Álcool carburante:** Uma estratégia brasileira. Curitiba: Editora UFPR, 248p. 2002.

LIMA, P. C. F. **Algarobeira. Espécies vegetais exóticas com potencialidades para o semi-árido brasileiro.** Embrapa Semi-Árido, - Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2005.

LIMA, D. F. **Avaliação nutricional e bioquímica de Prosopis juliflora e seu aproveitamento na alimentação humana.** In: 2º Simpósio Brasileiro sobre algaroba. 1987. Mossoró, RN, Brasil. p.61-65. Coleção Mossoroense. N° 357.

LORENZI, H., SOUZA, H. M. de, TORRES, M. A. V. & BACHER, L. B. **Árvores exóticas no Brasil.** São Paulo: Nova Odessa: Plantarum, 2003. 368p.

MACHADO, A. M. C. **Potencial das biomassas disponíveis no nordeste brasileiro como fontes alternativas de geração de energia.** Dissertação de mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2010

MILLER, G. L. **Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar.** Analytical Chemistry, Washington, US, v. 31, n. 3, p. 426-428, Mar. 1959.

MONOCHIO, C. **Produção de Bioetanol de cana-de-açúcar, milho e beterraba: uma comparação dos indicadores tecnológicos, ambientais e econômicos.** Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Química. Universidade Federal de Alfenas – Campus de Poços de Caldas, MG. Poços de Caldas: 2014.

MONTEIRO, A. F. S. **Avaliação das potencialidades de produção de bioetanol em Portugal.** 2011. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2011.

MUNIZ, M. B. **Processamento das vagens de algaroba (Prosopis juliflora) pra produção de bioprodutos.** 2009. Tese de Doutorado em Engenharia de Processos – Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande – PB 2009.

NOBRE, F. V. **Algaroba, importante forrageira para o Nordeste Natal.** RN. 2ª ed. 1982. 41p. (EMPARN. Boletim Técnico, 5).

NUNES, B. R. P.; HONORATO, F. L.; ALMEIDA, M. M.; SILVA, C. G.; SOUZA, K. S.; CAPITULINO, R. **Estudo da destilação de fermentados de frutos tropicais: cinética do processo fermentativo e caracterização físico-química da aguardente.** In: BRAZILIAN MEETING ON CHEMISTRY OF FOOD AND BEVERAGES, 7, 2008, Lorena-SP. Lorena: EEL. 2008, v. 1, f.378.

PANTOJA, L. **Aproveitamento biotecnológico de frutos encontrados na Amazônia por fermentação alcoólica utilizando leveduras imobilizadas.** 2006. Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Universidade Federal do Amazonas. Manaus 2006.

PARENTE, G. D. L. **Cinética da fermentação e da destilação na produção de aguardente de abacaxi.** 2014(Mestrado em Sistemas Agroindustriais) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2014.

PATARO, C.; GOMES, F.C.O.; ARAÚJO, R.A.C.; ROSA, C.A.; SCHWAN, R.F.; CAMPOS, C.R.; CLARET, A.S.; CASTRO, H.A. **Utilização de leveduras selecionadas na fabricação da cachaça de alambique**. Informe Agropecuário, EPAMIG, Belo Horizonte, v. 23, n 217, p. 37-43, 2002.

ROCHA, A.S. **Produção e avaliação físico-química da aguardente do fruto da palma forrageira (*Opuntia ficus – indica* Mill)**. 2008. 80f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande-PB. 2008

SACHS, I. **Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável**, organização: Stroh, P. Y. Rio de Janeiro: Garamond, 2002.

SACHS, I.; VIEIRA, P. F. **Rumo à ecossocioeconomia: teoria e prática do desenvolvimento**. São Paulo: Cortez, 2007.

SEBRAE. **Uso de resíduos e dejetos como fonte de energia renovável**. Brasília. SEBRAE – Serviço de Apoio as Micro e Pequenas Empresas. 2009.

SEBRAE. **Cachaça Artesanal: Série Estudos Mercadológicos**. Relatório Completo. 2012

SEBRAE. **O que é etanol?** Disponível em:
<<http://www.sebrae.com.br/setor/agroenergia/o-setor/etanol/o-que-e->>.
Acessado em: 12 agosto 2013.

SILVA, C. G. **Avaliação nutricional do resíduo da vagem da algaroba (*Prosopis juliflora* Sw DC) após a extração do caldo para fabricação de aguardente**. In:
Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de alimentos, 19, Ciência e Tecnologia de Alimentos: Estratégia para o Desenvolvimento. Centro de Convenções de Pernambuco. Anais. Recife. 2005.

SILVA, C. G. M. **Processo biotecnológico para conversão de algaroba (*Prosopis juliflora* Sw D.C.) em etanol**. Tese (Doutorado em Nutrição). 2007, 104f. Universidade Federal de Pernambuco. Recife 2007.

SILVA, C. G. **Otimização das etapas de produção da aguardente de algaroba (*Prosopis juliflora* Sw DC) e aproveitamento dos resíduos resultantes em produtos alimentares**. 2009. Tese de Doutorado em Engenharia de Processo. Universidade Federal de Campina Grande – Campina Grande, PB.

SILVA, C. G.; MATA, M. E. R. M. C.; BRAGA, M. E. D; QUEIROZ, V. S. **Extração e Fermentação do Caldo de Algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw) DC) para obtenção de aguardente**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, v. 5, n.1, p. 51-56, 2003.

SOLOMONS, T. W. G.; FRYHLE, C. B.: tradução MATOS, R. M., revisão técnica, RASLAN, D. S. **Química Orgânica 1**. Rio de Janeiro: LTC, 2005.

SOUZA, B. I., SUERTEGARAY, D. M. A., LIMA, E. R. V., 2010. **Políticas Públicas, uso do solo e desertificação nos Cariris Velhos (PB/Brasil).** Scripta Nova 14, 311-324.

SOUZA, R. F.; TENÓRIO, Z. **Potencialidade da algaroba no Nordeste.** In: Simpósio Brasileiro Sobre Algaroba, 1982, Natal. Anais...Natal: EMPARN, 1982, p.198-216.

STEIN, R.B.S. **Avaliação de métodos para determinação da digestibilidade aparente utilizando farelo de vagem de algaroba (*Prosopis juliflora* (Swartz) D.C.) em eqüinos.** 78 f. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, Pirassununga, SP. 2002.

SUASSUNA, J. **Algarobeira – produção e produtividade.** Recife, 2007, 6p. (Boletim da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária EMBRAPA 2007

TRABULSI, L. R.; ALTERTHUM, F. **Microbiologia.** 4ª Edição, Editora Atheneu, São Paulo, 2004, 718p.

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change. **Relatório da Conferência das Partes sobre sua Vigésima Primeira Sessão,** Realizada em Paris em 2015.

VEIGA FILHO, A. A; RAMOS, P. **Proálcool e Evidências de Concentração na Produção e Processamento de Cana de Açúcar - Informações Econômicas,** São Paulo, v.36, n.7. 2006.

VILELA, A. F. **Estudo da adequação de critérios de boas práticas de fabricação na avaliação de fábricas de cachaça de alambique.** 2005. 96f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas